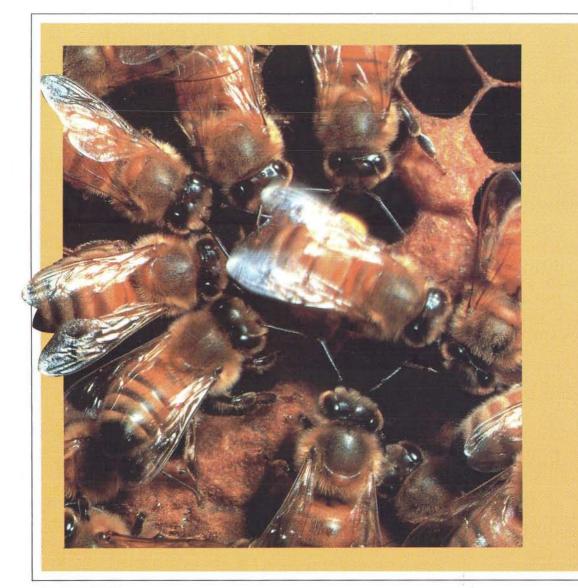
4 61e jaargang

NATUUR'93 &TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



HONING

BOTMINERALEN/NIEUWE METALEN/NARCOSE/ STERRENSTELSELS/DE RIJN WEER SCHOON

Een lerarenoplexact iets vooi

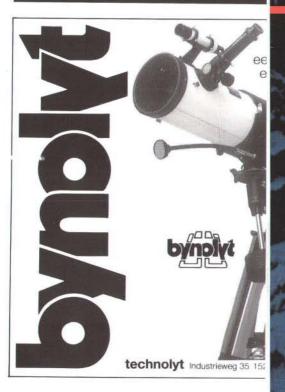
De Hogeschool Midden Ne lerarenopleidingen in voltijc natuurkunde, scheikunde, techniek en gezondheidsku

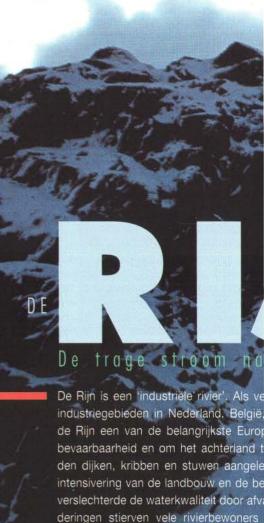
Bent u geïnteresseerd in éér maken met de vakgroep, da voorlichtingsdag, zaterdag

Bezoekadres: Archimedesla Makkelijk bereikbaar met b

Schriftelijke informatie kunt Hogeschool Midden Nederl Postbus 14007, 3508 SB Ut

LERARENOPLI





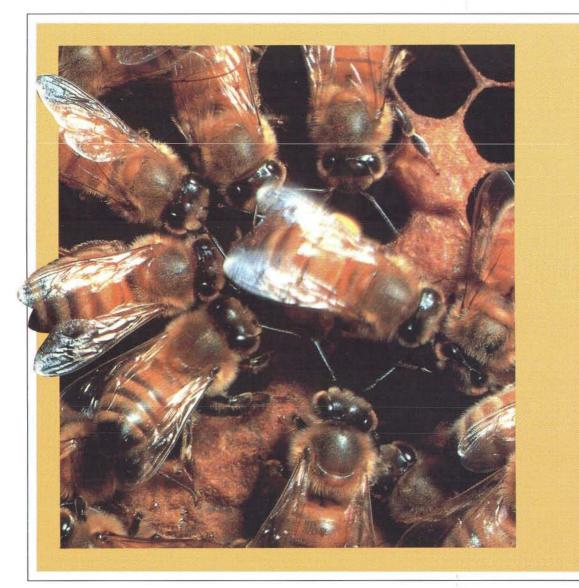
uit. Na een dieptepunt in de jaren zestig is de waterkwaliteit momenteel sterk verbeterd. Enkele rivierbewoners zijn inmiddels teruggekeerd. Deze verbeteringen vormen het begin van het ecologisch herstel van de Rijn. Naast een verdere verbetering van de waterkwaliteit, vooral door een vermindering van meststoffen, organische gifstoffen en zouten, moet ook de structuur van de rivier worden veranderd eer een aantal karakteristieke rivierbewoners

zal terugkomen.

4 61e jaargang

NATUUR '93 &TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



HONING

BOTMINERALEN/NIEUWE METALEN/NARCOSE/ STERRENSTELSELS/DE RIJN WEER SCHOON

O P E N D A G

Een lerarenopleiding exact: exact iets voor u?

De Hogeschool Midden Nederland verzorgt de volgende exacte lerarenopleidingen in voltijd en in deeltijd: natuurkunde, scheikunde, biologie, natuur en milieu, wiskunde, techniek en gezondheidskunde/verzorging

Bent u geïnteresseerd in één van deze opleidingen en wilt u nader kennismaken met de vakgroep, dan bent u van harte welkom op onze voorlichtingsdag, zaterdag 15 mei 1993, 11.00-13.00 uur.

Bezoekadres: Archimedeslaan 16, 3584 BA Utrecht Makkelijk bereikbaar met buslijn 11

Schriftelijke informatie kunt u aanvragen bij: Hogeschool Midden Nederland, Faculteit Educatieve Opleidingen Postbus 14007, 3508 SB Utrecht, bureau voorlichting: 030-547160

LERARENOPLEIDING



NATUUR '93 &TECHNIEK

Losse nummers: f 12,25 of 240 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Hoofdredactie: Th.J.M. Martens, Dr G.M.N. Verschuuren. Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek, Drs E.J. Vermeulen. Secretariaat: Drs L.P.J. Slangen. Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305. Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Dr W.A. Casparie, Drs G.P.Th. Kloeg,

A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal,

Redactie-adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten. De Redactie-adviesraad adviseert in algemene zin maar draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, D. Gorissen, P. Maas. Druk: Valkenburg Printers Echt (Ned.).

Dr J. Willems.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044 (tot 20.30 uur, ook in het weekend).

Bij de omslag

Een bij geeft dansend de positie van een bloemenveld aan. De honingbij verzamelt nectar en zet deze om in honing. Het zoete broodbeleg blijkt ook een prima wondzalf. Drs J.D. Kerkvliet beschrijft vanaf pag. 276 wat het smeuïge natuurprodukt zo bijzonder maakt. (Foto: Kenneth Lorenzen, University of California, Davis, VS)

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 125,- of 2450 F. Voor studenten: f 95,- of 1860 F.

Distributie voor de boekhandel: Betapress BV, Gilze (Ned.).

Abonnement voor drie jaar: f 320,- of 6275 F.

Overige landen: f 35,- extra porto (zeepost) of f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 12,25 of 240 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK worden afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging voor het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDS kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Advertentie-exploitatie: Publiciteitsbureau Spoor & Partners BV (lid VOME), Postbus 200, 2060 AE Bloemendaal (Ned.). Telefoon: 0(0-31)23-271114. Fax: 0(0-31)23-254045. Telex: 41529 spoor nl.

Redactie, vormgeving en administratie zijn te bereiken op:
Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht.
Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel.
Bezoekadres: Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.
Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).
Telefax: 0(0-31)43 216124. Telex: 56642 natu nl
Postrekening: In Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur & Techniek, Maastricht.
In België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur & Techniek, Brussel.
Bankrelatie: In Nederland: ABN-AMRO-Bank NV, Heerlen, nr. 44.82.00.015.
In België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.



Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTÍFICO (E).



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093

Centrale Uitgeverij en Adviesbureau b.v.

INHOUD

AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Kennisopbouw	263

DE RIJN

De trage stroom naar ecologisch herstel

F.W.B. van den Brink, G. van der Velde en A. bij de Vaate

De Rijn is als 'industriële rivier' een van de belangrijkste Europese waterwegen. Met de opkomst van de industrie, de intensivering van de landbouw en de bevolkingsaanwas in de loop van deze eeuw, verslechterde de waterkwaliteit door afvalwaterlozingen. Als gevolg van deze veranderingen stierven vele rivierbewoners uit. Verbetering van de waterkwaliteit vormt het begin van het ecologisch herstel. Daarnaast moet de structuur van de rivier worden veranderd, wil een aantal karakteristieke rivierbewoners terugkomen.



HONING

Bijprodukt op brood en brandwond

J.D. Kerkvliet

Is honing slechts een zoet broodbeleg of mogen we er meer van verwachten? Veel mensen zien honing als een bijzonder gezond produkt. Sommigen tellen veel geld neer voor bepaalde honingsoorten, omdat die geneeskrachtig zouden werken. In het Academisch Ziekenhuis Maastricht wordt onderzocht welke soort honing het meest geschikt is voor de behandeling van geïnfecteerde wonden bij de mens. Over de voedings- en gezondheidsaspecten, maar ook over de fysica en de chemie achter honing, gaat dit artikel.



ANESTHESIE

Een pijnloze geschiedenis

Joh. Spierdijk

De voorkeur voor anesthesie bij medische ingrepen die de Britse koninklijke familie in de negentiende eeuw tentoonspreidde, betekende een belangrijke stimulans voor de ontwikkeling van dit vakgebied in Engeland. Aan de andere kant van het kanaal was men er nog niet zo happig op. Pas na de Tweede Wereldoorlog erkende men in Europa de anesthesie als specialisme en kon het vak zich als wetenschap ontwikkelen. De patiënt kan zich tegenwoordig met een gerust hart overgeven aan zijn 'narcosedokter'.



276

264



NATUUR '93 &TECHNIEK

april/61° jaargang 1993



NIEUWE METALEN

300

De kracht van de orde

Ian Baker

Materialen in straalmotoren, in reactoren in chemische fabrieken en in elektriciteitscentrales moeten aan hoge eisen voldoen. Ze moeten bestand zijn tegen hoge temperaturen en tegen oxydatie en corrosie. Ze mogen niet bros zijn, maar al te taai is ook niet goed. Nieuwe legeringen lijken beter bestand tegen extreme omstandigheden dan materialen die tot nu toe worden gebruikt. Uitgebreid onderzoek leert ons veel over hun eigenschappen. De praktische toepassing van de materialen is nog niet zo simpel.

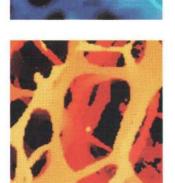
DE STRUCTUUR VAN STERRENSTELSELS

312

Vorming, vorm en vervorming

P.T. de Zeeuw

Sterrenstelsels komen voor in allerlei vormen en maten. De twee grote hoofdsoorten zijn spiraalstelsels en elliptische stelsels. In dit artikel komen de verschillen en overeenkomsten aan de orde, met aandacht voor hun vorm, hun interne bewegingen en hun inhoud aan sterren, gas en donkere materie. Recente waarnemingen laten zien dat gedurende de geschiedenis van het Heelal geregeld sterrenstelsels zijn samengesmolten. Dit proces kan sinds kort worden nagebootst met een computerprogramma.



MAGNESIUM EN VERKALKING

324

Het onderschatte nut van een mineraal

F.C.M. Driessens

De mineralen in onze lichaamsvloeistoffen zorgen voor een intern milieu waarin de levende cellen, de organen en de orgaansystemen optimaal functioneren. In dit artikel gaan we onder meer na hoe magnesium de huishouding van calcium en fosfaat beïnvloedt. Vooral op latere leeftijd zien we door verstoring van die huishouding allerlei ziekten optreden zoals osteoporose, aderverkalking en gewrichtsverkalking. Recent verworven kennis stelt ons in staat om op eenvoudige wijze aandoeningen als deze te voorkomen.

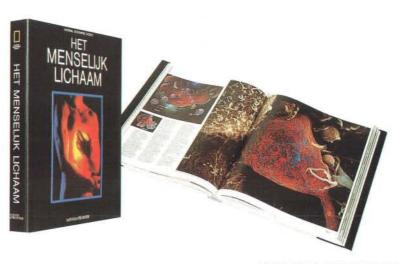
ANALYSE & KATALYSE/Het raadsel van de beweging/ De ware ontleders der lichamen	336
ACTUEEL	343
SIMULATICA/Paaseieren	344
PRIJSVRAAG	350

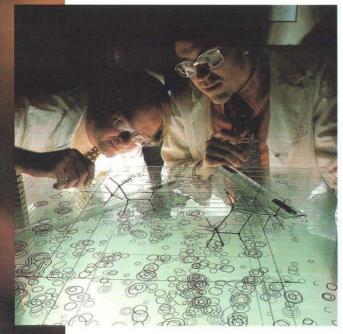
EEN UNIEKE Coproduktie

Diverse onderwerpen komen aan de orde: van het embryonale stadium tot aan de ontwikkeling van antibiotica op de ontwerptafel.

HET MENSELIJK LICHAAM

EEN ONGELOOFLIJKE MACHINE





HET MENSELIJK LICHAAM

Een ongelooflijke machine

is één van die bijzondere boeken die Natuur & Techniek in de laatste jaren heeft uitgegeven. Wij stellen dit boek wederom aan onze abonnees ter beschikking tegen de speciale prijs van f 95,- of 1860 F (excl. verzendkosten), betaalbaar in twee termijnen; de normale prijs is f 145,- of 2845 F. U kunt het boek bestellen door gebruik te maken van het desbetreffende overschrijvingsformulier in dit nummer. Voor nabestellingen kunt u ons bellen in Nederland: 0(0-31)43-254044.

Een uitgave van Natuur & Techniek in samenwerking met de National Geographic Society.



waarneming tot en met de verwerking van die informatie in de hersenen. Kortom: een reportage over de mens, van de wieg tot aan het graf. Het merendeel van wat in dit boek wordt beschreven, is gloednieuwe informatie, het resultaat van onderzoek van de laatste tien jaar. Bovendien zijn verschillende fantastische foto's in dit boek het resultaat van recente ontwikkelingen in de fotografie, die enkele jaren geleden nog voor onmogelijk werden gehouden.

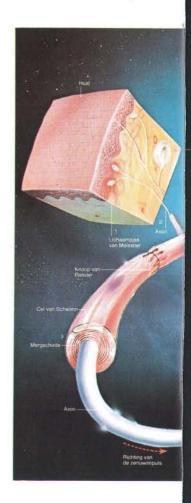
Het menselijk lichaam werd door vele deskundigen, onder begeleiding van een omvangrijke staf van de National Geographic Society, geschreven en vormgegeven. Het boek is voorzien van talrijke illustraties: vele foto's, onder andere van de wereldbekende Zweedse fotograaf Lennart Nilsson, een schat aan verduidelijkende illustraties in de vorm van art-impressions en computersimulaties. Begeleid door de staf van Natuur & Techniek, hebben prof dr J.A. Bernards en mw. drs C. Sykora een Nederlandstalige uitgave tot stand gebracht.

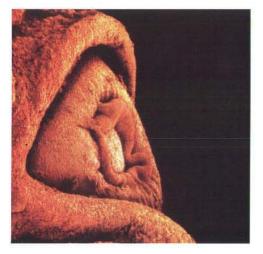
Een reportage over de mens

Tot voor kort was dit boek ondenkbaar geweest. Hoewel medici en biologen vijftig jaar geleden erg zelfverzekerd waren en hun kennis over de bouw en functie van het menselijk lichaam enorm groot leek, zijn de tijden veranderd. Want met name de laatste tijd hebben de biomedische wetenschappen nieuwe en verrassende inzichten gekregen in de complexe processen die zich in ons lichaam afspelen. Door vele nieuwe technieken is er zoveel informatie beschikbaar gekomen dat alleen de vakspecialisten deze tot in details kunnen overzien. De befaamde National Geographic Society heeft, met een omvangrijke staf aan medewerkers, dat brede veld doorvorst en voor een breed publiek toegankelijk gemaakt.

Onderzoek van de laatste tien jaar

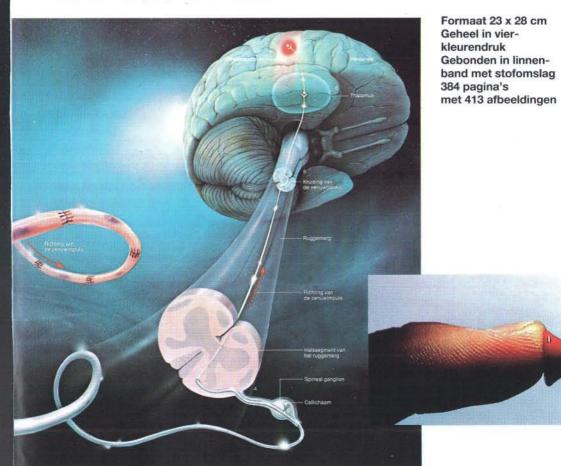
En dit is het resultaat: Het menselijk lichaam - Een ongelooflijke Machine. Het boek doet uitvoerig verslag van alle functies van het menselijk lichaam: van DNA tot en met een volwassen organisme, van het bloed tot en met het immuunsysteem, van de







De aanleg van signaalverwerkende weefsels en organen, hun functioneren, alsmede hun herstel na een aandoening krijgen in Het menselijk lichaam - Een ongelooflijke Machine ruim de aandacht.



Het **nieuwste** boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek

SEKSUELE SELECTIE



Een proces van tegenstrijdige belangen

James L. Gould en Carol Grant Gould

Waarom zijn er mannetjes en vrouwtjes als voortplanting ook ongeslachtelijk kan - in minder tijd en met minder risico's? Dat is de paradox van de seksualiteit, die om een wetenschappelijke oplossing vraagt.

Een ander probleem van de seksualiteit is dat organismen een partner moeten vinden - en niet de eerste de beste, maar een met goede vooruitzichten voor het nageslacht. Hoe komt die partnerkeuze tot stand? Vervolgens moeten ze samen tot paring komen, en dat is geen 'sinecure'. En tenslotte moet het nageslacht verzorging krijgen. Wie van de twee moet dat doen? Kortom, voortplanting is een proces van tegenstrijdige belangen.

Dit is deel 31 uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek: 280 pagina's met 180 afbeeldingen in vierkleurendruk. ISBN 90 73 035 16 3

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees van Natuur & Techniek: f 59,50 of 1165 F.

Voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek: f 49,75 of 975 F.

Informatie en bestellingen tot 16.30 uur: 0(0-31)43.254044

AUTEURS

Drs F.W.B. van den Brink ('Rijnsanering') studeerde biologie aan de KU te Nijmegen. Sinds 1985 is hij er werkzaam bij de vakgroep Aquatische Oecologie. Momenteel onderzoekt hij (in het kader van zijn promotie) de invloed van de waterkwaliteit en overstromingsdynamiek op de uiterwaardplassen langs de Rijn. Van den Brink werd in 1956 te Eindhoven geboren.

Prof dr G. van der Velde ('Rijnsanering') is geboren in Groningen, op 7 september 1946. Hij studeerde biologie aan de RU te Leiden en promoveerde in 1980 in Nijmegen. Vanaf 1974 is Van der Velde werkzaam bij de vakgroep Aquatische Oecologie van de KU Nijmegen, (sinds 1986 als universitair hoofddocent). Hij is bovendien hoogleraar aan de VU te Brussel.

A. bij de Vaate ('Rijnsanering') werd op 6 september 1945 in Zierikzee geboren. Hij werkte bij verscheidene instellingen als analist. Bij de Vaate is momenteel onderzoeksmedewerker Biologisch Onderzoek en projectleider Ecologisch Onderzoek Rivieren bij Rijkswaterstaat te Lelystad.

Drs J.D. Kerkvliet ('Honing') studeerde van 1958 tot 1966 scheikunde aan de VU te Amsterdam. Daarna trad hij in dienst van de Keuringsdienst van Waren in Haarlem. Sinds 1989 is hij medewerker Inspectie Gezondheidsbescherming van de Keuringsdienst van Waren te Amsterdam. Kerkvliet werd in 1939 te Haarlem geboren.

Prof dr Joh. Spierdijk ('Anesthesie') werd op 17 januari 1927 in Haarlem geboren. Hij studeerde geneeskunde aan de universiteit van Amsterdam en promoveerde er op 30 juni 1966. Van 1957 tot 1970 is Spierdijk in diverse ziekenhuizen als anesthesist werkzaam geweest. Daarna was hij tot februari 1992 hoogleraar anesthesiologie aan de RU Leiden.

Dr Ian Baker ('Intermetallische verbindingen') werd op 30 januari 1957 geboren te Burton-upon-Trent, Engeland. Hij studeerde materiaalwetenschappen in Oxford. Sinds 1982 is Baker verbonden aan de Thayer School of Engineering te Hanover in de VS. In 1985 en 1986 was hij onderzoeker bij NASA. Baker heeft diverse wetenschappelijke prijzen gewonnen.

Prof dr P.T. de Zeeuw ('Sterrenstelsels') studeerde sterrenkunde aan de RU te Leiden en promoveerde er in 1984. Van 1984 tot 1990 verbleef De Zeeuw in de VS, onder meer aan Caltech. Vanaf 1990 is hij hoogleraar theoretische sterrenkunde in Leiden en directeur van de Nederlandse Onderzoekschool voor Astronomie. Hij werd in 1956 te Schoonoord geboren.

Prof dr F.C.M. Driessens ('Magnesium') is geboren in Venray, op 26 februari 1937. Hij studeerde schei- en natuurkunde in Utrecht en promoveerde in 1964 te Eindhoven. Van 1970 tot 1990 was Driessens hoogleraar tandheelkundige materiaalkunde aan de KU Nijmegen. Momenteel is hij hoogleraar dentale technologie aan de universiteit van Witten-Herdecke in Duitsland.

Kennisopbouw

Vaak wordt wetenschap beschreven als kennisaccumulatie. Vandaag ontdekken we wat, morgen ontdekken we iets nieuws en dan weten we dus twee dingen. Als we overmorgen weer iets vinden, hebben we kennis van drie zaken, en zo kunnen we maar doortellen. Dat beeld heeft tot gevolg dat we ooit alles zullen weten, want het aantal te weten zaken mag erg groot zijn, het is eindig. Een kwestie van stug doorgaan en tijd van leven hebben.

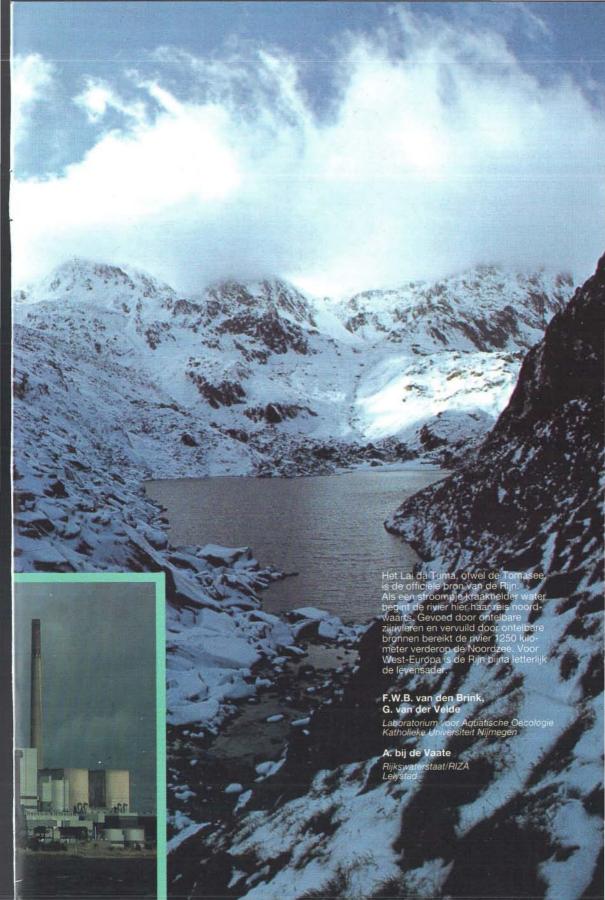
Jammer genoeg klopt er van alles niet aan dat verhaal. (Of dat nu echt zo jammer is, valt te betwijfelen; het is leuker als er iets te doen blijft.) Elke kennis wordt opgedaan in een bepaald theoretisch kader. De wijsgeren van deze tijd zitten elkaar in de haren over wat zo'n theoretisch kader nu precies is, de een noemt het een theorie, de ander een paradigma, bij de derde heet het een researchprogramma, de vierde heeft het zelfs over een taalsysteem. Ze verstaan onder die verschillende namen ook verschillende grootheden, maar ze zijn het er allemaal wel zo'n beetje over eens, dat je kennis uit het ene kader niet zo maar kunt optellen bij kennis uit een ander kader. De theoretische kaders in de economie, de evolutie-biologie en de theoretische natuurkunde zijn zo verschillend, dat men met kennis uit het ene veld niets aankan in het andere. (Soms wordt het wel gedaan, maar dat is dan hoofdzakelijk een bron van verwarring, zo niet onzin).

Dat betekent ook, dat de wetenschap bij een ingrijpende theoretische omwenteling zoals de relativiteitstheorie, de quantumtheorie en de ontdekking van zuurstof, voor een groot deel opnieuw kan beginnen. Alles moet opnieuw worden geïnterpreteerd en onderzocht, en veel van wat we allang wisten, blijkt in het kader van de nieuwe theorie toch opnieuw te moeten worden bekeken.

Dat klinkt een beetje alsof de wetenschap een Sisyfusarbeid is, onbegonnen werk, waar het eind van 't liedje steeds is dat je opnieuw kunt beginnen. Maar dat is toch niet waar, omdat we aan elke nieuwe theorie de eis stellen, dat ze alles verklaart wat de oude theorie verklaarde, plus nog zoveel mogelijk van wat we hebben waargenomen dat niet in de oude theorie paste. Elke nieuwe theorie moet een betere verklaring geven dan de voorgaande. Of dat ook betekent dat we de werkelijkheid steeds beter benaderen, valt niet zo maar te zeggen, maar omdat we niets anders ter beschikking hebben, moeten we dat dan maar aannemen.

Een leuke kant van het niet zo bijster cumulatief zijn van kennis is dat er niet kan worden geëxtrapoleerd, en zo komen we geregeld voor verrassingen te staan. Zoals de rol van magnesium bij het voorkómen van aderverkalking (Driessens, pag. 324), de mogelijkheden van intermetallische verbindingen (Baker, pag. 300) of de ontdekking dat de ooit saai geachte elliptische sterrenstelsels juist heel boeiend zijn (De Zeeuw, pag. 312). En gelukkig hoeven we niet bang te zijn dat de verrassingen ooit zullen uitblijven.





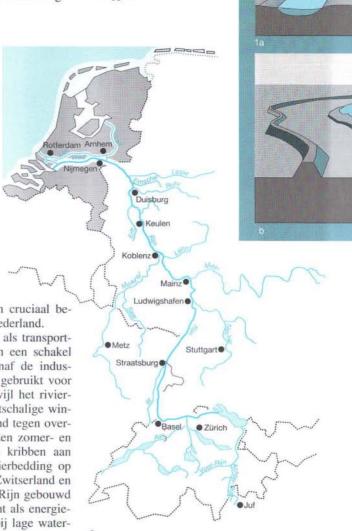
De Rijn vormt de schakel tussen het Rotterdamse havengebied en de bevolkings- en industriegebieden in Nederland, België, Duitsland, Frankrijk en Zwitserland en is daardoor een van de drukst bevaren rivieren ter wereld. In Nederland vertakt de rivier zich in de trajecten Waal, IJssel en Nederrijn/Lek. Door zijn hoge afvoer is de Rijn de belangrijkste bron van zoet water in Nederland. Voor België is vooral de Maas van belang. Via kanalen staan beide rivieren met elkaar in verbinding.

In droge perioden wordt in grote delen van Nederland Rijnwater gebruikt om het waterpeil hoog te houden. Boezem- en polderwateren kunnen voor meer dan de helft uit Rijnwater bestaan. De kustgebieden zijn aangewezen op Rijnwater voor doorspoeling van waterlopen, om zo verzilting van de bodem door te hoge zoutgehalten te vermijden. De invloed van de rivier is ook in zee merkbaar. Het Rijnwater mengt naar verhouding weinig met het water uit het centrale deel van de Noordzee en stroomt langs de Hollandse kust naar de Waddenzee. Dit betekent dat de

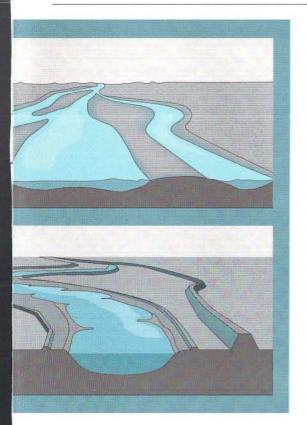
kwaliteit van het Rijnwater van cruciaal belang is voor grote gebieden in Nederland.

Van oudsher vormen rivieren als transportroute voor mensen en goederen een schakel tussen bevolkingsgebieden. Vanaf de industriële revolutie werden rivieren gebruikt voor de afvoer van afvalstoffen, terwijl het rivierwater ging dienen voor de grootschalige winning van drinkwater. Om het land tegen overstromingen te beschermen werden zomer- en winterdijken aangelegd, terwijl kribben aan weerszijden in de rivier de rivierbedding op zijn plaats moesten houden. In Zwitserland en Duitsland werden stuwen in de Rijn gebouwd voor het gebruik van waterkracht als energiebron en in Nederland om ook bij lage waterstanden de rivier bevaarbaar te houden. Door deze ingrepen is het totale oppervlak aan vrij overstroomde uiterwaarden drastisch beperkt, heeft de vaargeul zich dieper ingesneden en zijn de oevers steiler geworden.

1. Een natuurlijke rivier (a) is een brede stroom die zich steeds verlegt, zich vertakt en weer verenigt. Er ontstaat daardoor een heel vlechtwerk van waterlopen met zandige eilanden en oeverwallen. In de gebieden die slechts bij hoogwater onderlopen zet de rivier dikke lagen zware klei af. Een genormaliseerde en gereguleerde rivier is veel smaller en dieper en kan zich niet meer verleggen.



 Het stroomgebied van de Rijn strekt zich uit van het Gotthardmassief in de Italiaans-Zwitserse Alpen tot de Hollandse Noordzeekust.



De waterkwaliteit van de rivier is drastisch veranderd door lozingen van huishoudelijk en industrieel afvalwater en door uitspoeling van meststoffen en bestrijdingsmiddelen uit landbouwgrond. In de loop van de jaren zestig was de waterkwaliteit van de Rijn op een dieptepunt en kwamen er perioden voor waarin het water zuurstofloos was. Door de bouw van rioolwaterzuiveringsinstallaties aan het eind van de jaren zeventig, is het zuurstofgehalte van de Rijn nu weer bijna op het oorspronkelijke niveau. Daarnaast is in de jaren tachtig het aandeel van een aantal zware metalen aan de vervuiling verminderd. Gehalten van zouten, meststoffen en organische microverontreinigingen (micro slaat op de lage concentratie, microgrammen per liter, waarin de verontreinigingen voorkomen) daarentegen, zijn niet of nauwelijks gedaald. Zware metalen, fosfaten en vele organische microverontreiningen komen nauwelijks in opgeloste vorm voor, maar zijn vooral gebonden aan slibdeeltjes. Die bezinken in de uiterwaarden en de benedenrivieren, waardoor de bodems daar met deze vervuilende stoffen worden opgeladen. Door lozing van koelwater vanuit elektriciteitscentrales is de temperatuur van het Rijnwater deze eeuw met enkele graden gestegen.

TABEL	Het Rijnwater rond 1870, 1965 en 1990				
		1870	1965	1990	
Temperatuur	°C	10,9	12,2	16,1	rimon
Zuurstof	milligram per liter water	?	5,0	10,1	-
Chloride	milligram per liter water	12	120	200	
Sulfaat	milligram per liter water	35	73	75	-
- Nitraat	milligram per liter water	1,5	12	18	20000
Ammonium	milligram per liter water	0,2	1,0	0,5	-
Ortho-fosfaat	milligram per liter water	0,15	0,45	0,35	
Totaal fosfaat	milligram per liter water	0,31	2,95	1,00	
- Natrium	milligram per liter water	5	75	100	SAME OF THE OWNER,
Kalium	milligram per liter water	5	6	7	-
Calcium	milligram per liter water	50	80	88	10400
Magnesium	milligram per liter water	10	10	11	2000
Lood	microgram per liter water	3*	35**	5	1000
Kwik	microgram per liter water	<0,05	3,1	0,05	-
- Cadmium	microgram per liter water	<0,04°	5***	0,1	10mm
PCB's	microgram per kilogram zwevende stof	0	?	28	Eastern .
PAK's	milligram per kilogram zwevende stof	0	?	1,71	-

Natuurlijke achtergrondconcentratie "in 1973 (daarvoor niet regelmatig gemeten) "in 1971 (daarvoor niet regelmatig gemeten)

Flora en fauna

Als gevolg van de veranderde leefomgeving zijn vele typische riviervissen en rivierbewonende ongewervelde dieren in aantal achteruit gegaan of zelfs geheel uitgestorven. Ook waterplanten in de rivier en rivierbegeleidende moerasplanten en ooibossen zijn grotendeels verdwenen. Deze achteruitgang is terug te voeren op het verdwijnen van geschikte leefmilieus (biotopen), op de waterverontreiniging en op migratiebelemmeringen. Zo zijn verschillende insektensoorten die afhankelijk zijn van de aanwezigheid van kleibanken, zandbanken, water- en oevervegetaties en ooibossen, met deze biotopen uit de rivier verdwenen. Daarnaast maakt de golfslag veroorzaakt door de intensieve scheepvaart, de resterende zand- en kleibanken ongeschikt voor gravende insektenlarven, zoals die van het oeveraas (Palingenia longicauda). Oeveraas, de groot-

Waterkwaliteit

I enige tientallen jaren wordt de kwaliteit van het Rijnwater bewaakt op meetstations in alle Rijnoeverstaten. Deze bewaking is vooral nodig om de drinkwatervoorziening voor zo'n twintig miljoen mensen veilig te stellen. Wanneer de hoeveelheid schadelijke stoffen de norm overschrijdt, staken de drinkwaterbedrijven tijdelijk de inname van rivierwater.

Behalve door gebruik te maken van chemische analyses wordt de kwaliteit van het rivierwater de laatste jaren ook gevolgd met biologische bewakingssystemen. Chemische analyses van het rivierwater dekken slechts een deel van de in het water aanwezige stoffen en zijn vaak tijdrovend, terwijl het water zich intussen verplaatst. Om snel korte-termijnveranderingen in de waterkwaliteit op te sporen wordt het gedrag van testorganismen (zoals bacteriën, water-



I-1 en I-2. Bij Lobith, waar het Rijnwater Nederland binnenstroomt, bevindt zich een meetstation dat waterkwaliteit waakt. Dat gebeurt onder meer met vissen, die in een aquarium met stromend rivierwater steeds tegen de stroom inzwemmen en dus nooit de drukgevoelige snaren aan de uitstroomzijde raken. Gebeurt dat wel, doordat de vissen vluchten of verzwakt raken, dan duidt dat op een verslechtering van de waterkwaliteit.

1-1

ste Europese eendagsvlieg, kwam de vorige eeuw nog in zeer groten getale voor, maar verdween begin deze eeuw uit West-Europa.

Verschillende riviertrekvissen, waaronder de zalm, zijn door een samenspel van factoren uit de Rijn verdwenen. De zalm wordt op zee volwassen en keert naar het zoete water terug om zich voort te planten. Tegen het eind van de vorige eeuw vingen de Nederlandse en Duitse riviervissers gezamenlijk nog zo'n honderdduizend zalmen per jaar. De vangsten namen daarna snel af, vooral doordat stuwen in Rijn en zijrivieren de paaiplaatsen onbereikbaar maakten voor de zalm. Bij het afsluiten van de vroegere Zuiderzee en het Haringvliet gingen bovendien belangrijke intrekplaatsen voor de trekvissen verloren.

Ook de toegenomen gehalten aan zouten, meststoffen en microverontreinigingen hebben veranderingen in flora en fauna teweegge-

INTERMEZZO I



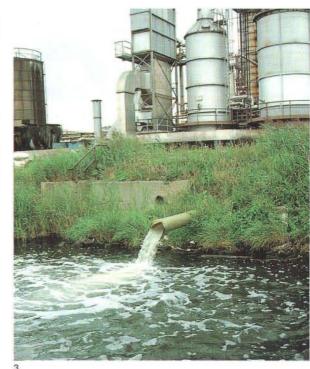
vlooien, mosselen en vissen) in een aquarium met vers rivierwater geobserveerd. Het algemene principe van zulke bewakingssystemen is dat de activiteit van de testorganismen wordt gemeten. Onder invloed van schadelijke stoffen verandert hun activiteit. Die daalt bijvoorbeeld tot onder een vooraf vastgestelde alarmwaarde.

De effecten van calamiteiten en van langetermijnveranderingen in de waterkwaliteit op de levensgemeenschappen in de rivier leest men af aan een ander bewakingssysteem. Dit systeem maakt gebruik van een kunstmatig substraat; een korfje met glazen knikkers dat gedurende een vaste periode op de bodem van de rivier verblijft. In die tijd koloniseren ongewervelde dieren die in de rivier leven en zich op harde voorwerpen hechten, de knikkers. Het aantal diersoorten dat na verloop van tijd op het kunstmatig substraat voorkomt, is een afspiegeling van wat er in de rivier op en tussen de stenen aanwezig is. Door gebruik te maken van een gelijke kolonisatieperiode, kan de meting volledig worden gestandaardiseerd, waardoor de waarnemingen onderling goed vergelijkbaar zijn

bracht. Door de huidige zoutbelasting zijn verschillende zouttolerante soorten in de rivier gaan domineren, ten koste van minder zouttolerante soorten. Brakwatersoorten zoals de witte steurgarnaal en het zuiderzeekrabbetje, die vroeger uitgesproken kustbewoners waren, zijn stroomopwaarts tot aan de Nederlands-Duitse grens opgerukt. Het gestegen gehalte aan meststoffen heeft tot een sterke toename van de hoeveelheid zwevende algen geleid.

Daardoor nam op zijn beurt het aantal filteraars, met name zoöplankton zoals watervlooien en raderdieren, en grotere ongewervelde dieren toe. Tenslotte hebben de hoge gehalten aan microverontreinigingen in de jaren zestig en zeventig geleid tot het verdwijnen van de grotere mosselsoorten en verschillende insektensoorten uit de Rijn.

De huidige verontreiniging van de bodem van uiterwaarden en van de benedenrivieren is bij dansmuggen verantwoordelijk voor een verminderde levensvatbaarheid en misvormingen van de larven. Bij verschillende uiterwaardbewonende dieren (das, schaap en rund) en in eieren van steenuilen, eksters en aalscholvers zijn verhoogde gehalten aan microverontreinigingen aangetroffen. Aalscholvers die in de vervuilde Biesbosch foerageren, produceren minder nakomelingen dan soortgenoten die in de schonere binnendijkse gebieden foerageren. Kuifeenden die werden gevoerd

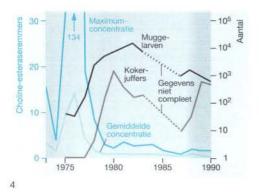


 De meeste steden en grote fabrieken langs de Rijn beschikken over afvalwaterzuiveringsinstalla-

ties. Desondanks komt er uit kleine bronnen en via het grondwater veel verontreiniging in de rivier.

met driehoeksmosselen uit het verontreinigde Haringvliet, brachten minder nakomelingen voort dan soortgenoten die mosselen uit het schonere Markermeer te eten kregen.

De kwaliteit van het Rijnwater oefent tevens een grote invloed uit op alle met de rivier in verbinding staande wateren, zoals kanalen en plassen, het IJsselmeer, de Noordzee en de Waddenzee. Zo hebben de hoge gehalten aan stikstof en fosfaat (voedingsstoffen voor algen en hogere planten) in de Rijn tot ernstige eutrofiëring (verrijking met voedingsstoffen) van Het plan omvat drie hoofddoelstellingen. Zo moet het ecosysteem van de Rijn zodanig worden hersteld, dat verdwenen hogere diersoorten (waaronder de zalm) weer inheems kunnen worden. Op de tweede plaats stelt het plan dat de bereiding van drinkwater uit de Rijn in de toekomst mogelijk moet blijven. Tenslotte zijn de opstellers van mening dat de toevoer van schadelijke stoffen zover terug moet, dat slib uit de rivier weer bruikbaar wordt op het land of zonder bezwaar in zee kan worden gestort.





deze wateren geleid. Bij sterke eutrofiëring treedt een toename van de planktongroei op. Die algen kunnen echter massaal sterven en worden dan zo snel afgebroken, dat ondiepe plassen volledig zuurstofloos kunnen worden. Hierdoor treedt vaak grote vissterfte op.

Beginnend herstel

Er vindt al geruime tijd internationaal overleg plaats over de kwaliteit van het Rijnwater. Deelnemers aan het overleg in de Internationale Rijn Commissie (IRC) zijn de Rijnoeverstaten Zwitserland, Frankrijk, Duitsland en Nederland. Sinds enkele jaren neemt ook de EG eraan deel. Met de bouw van rioolwaterzuiveringsinstallaties is in de jaren zeventig een kentering gekomen in de achteruitgang van het Rijnecosysteem, maar in de jaren tachtig stagneerde de Rijnsanering. Naar aanleiding van het Sandoz-ongeval in 1986 werden afspraken gemaakt om de rivier verder schoon te maken. Die leidden tot het *Rijnaktieplan*.

Het Rijnaktieplan en diverse andere beleidsplannen schetsen een toekomstbeeld voor de rivier, dat neerkomt op het handhaven van de belangrijkste huidige functies (waterafvoer, scheepvaart en drinkwatervoorziening). Onder die voorwaarden streven de plannenmakers naar een betere waterkwaliteit en naar meer ruimte voor natuurlijke rivierbiotopen, zodat verdwenen rivierbewoners kunnen terugkeren, het zogeheten ecologisch herstel.

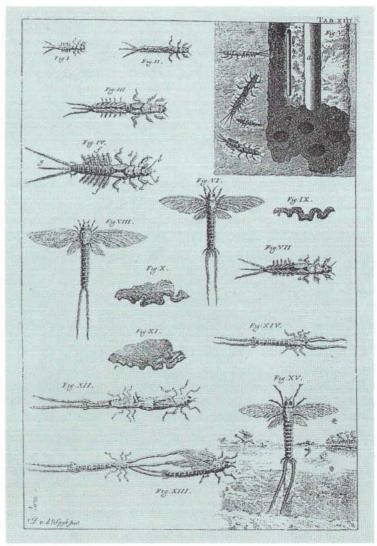
Als reactie op de waterkwaliteitsverbetering raakt de Rijn langzamerhand weer bevolkt door enkele soorten die vroeger ook in de rivier hebben geleefd, de zogenaamde rekolonisten. Zo werden in de jaren tachtig enkele soorten riviermosselen en stromingsminnende insekten teruggevonden. Voor ecologen was de terugkeer van de eendagsvlieg *Ephoron virgo*, na een afwezigheid van bijna vijftig jaar, een spectaculaire gebeurtenis. Ook bij een aantal vissoorten lijkt enig herstel op te treden sinds het dieptepunt aan het begin van de jaren zeventig. Het gaat hierbij echter voor-

al om soorten die niet strikt aan rivieren zijn gebonden. Typische riviervissen zoals barbeel, kopvoorn en sneep komen weliswaar nog steeds voor, maar slechts in zeer kleine bestanden, die zich niet of nauwelijks uitbreiden. Ondanks het beginnend herstel, ontbreken nog steeds zeer veel van de soorten die in het begin van deze eeuw de Rijn bevolkten.

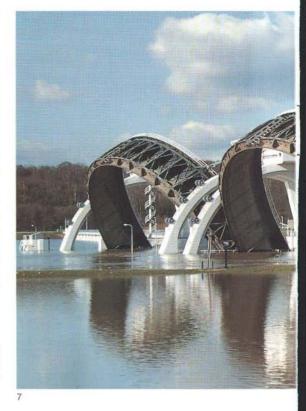
De soorten die uit de Rijn zijn verdwenen, hebben open plaatsen achtergelaten. Die werden veelal opgevuld door soorten die oorspronkelijk niet tot het ecosysteem van de Rijn behoorden. De meeste van deze immigranten behoren tot de groep der ongewervelde dieren en zijn zouttolerant, warmteminnend en tamelijk ongevoelig voor verontreinigingen. Ze zijn dus uitstekend aangepast aan de huidige Rijn. Onder de binnendringers bevinden zich soorten uit de brakke riviermonding (de witte steurgarnaal), uit andere gebieden in Europa (de driehoeksmossel) en zelfs uit andere continenten (de Chinese wolhandkrab).

De Kaspische slijkgarnaal, Corophium curvispinum, komt sinds 1987 voor in de Rijn.

- 4. Het aantal kokerjuffers en muggelarven op een paar stenen van een kribbe in de Rijn blijkt samen te hangen met de concentratie van bepaalde insekticiden in het water. Hoewel de meetgegevens niet compleet zijn, is de sterke daling van het aantal insekten in de tweede helft van de jaren tachtig waarschijnlijk te wijten aan de ramp bij Sandoz in Basel in 1986. Toen kwamen bij een brand grote hoeveelheden chemicaliën in de Rijn terecht.
- 5. De driehoeksmossel bewoonde oorspronkelijk het gebied rond de Zwar-te Zee, maar heeft zijn verspreidingsgebied dedurende de achttiende eeuw naar Noord- en West-Europa uitgebreid. Naast de aanleg van kanalen, waardoor riviersystemen met elkaar verbonden werden, heeft vermoedelijk ook de scheepvaart daaraan bijgedragen. Ongewervelde dieren kunnen namelijk gemakkelijk door schepen via het ballastwater of vastgehecht aan scheepswanden naar elders worden vervoerd.
- 6. De Nederlandse onderzoeker Swammerdam legde in 1675 de verschillende ontwikkelingsstadia van het oeveraas vast. Het is een van de eerste tekeningen van de gedaantewisseling van een insekt.



Zoals de naam al aangeeft komt die van oorsprong uit rivieren die in de Kaspische Zee uitmonden. Deze brakwaterbewoner heeft zich in vier jaar tijd ontwikkeld tot de meest dominante diersoort van de rivier. In 1991 werden plaatselijk dichtheden van 750 000 exemplaren per vierkante meter waargenomen en bleken de meeste stenen van de kribben in de Rijn bedekt te zijn met de modderige woonbuisjes van deze soort, die over elkaar heengroeien. De oorzaak van het succes van deze soort is in de eerste plaats het overmatige voedselaanbod in de Rijn in de vorm van plantaardig plankton, dat in zeer hoge dichtheden aanwezig is. Daarnaast is de Kaspische slijkgarnaal fysiologisch goed aangepast aan het hoge zoutgehalte en aan de hogere watertemperatuur in de Rijn. Een derde factor in het succes van deze soort is zijn voortplantingsstategie. Het is een zogenaamde r-strateeg (zie



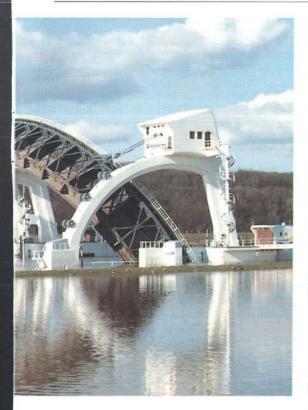
7. Stuwen, zoals deze in de Lek bij Amerongen, vormen grote belemmeringen voor de trek van vissen. Helaas zijn ze onmisbaar om de benedenloop van de rivier in droge perioden op peil te houden ten behoeve van de scheepvaart.

De r- en de K-strategie

cologen kunnen het succes van soorten in een veranderende omgeving verklaren door te kijken naar het voortplantings- of reproduktievermogen en naar de concurrentiekracht van de soort. Snelle kolonisten zijn soorten die de zogenaamde r-strategie volgen - de r staat voor reproduktie. De soorten die de r-strategie volgen zijn opportunisten. Ze vertonen een snelle ontwikkeling, kennen geen broedzorg, brengen veel nakomelingen voort, leven kort en zijn klein. Ze hebben weinig concurrentiekracht, geen territoriumgedrag en hun sterfte is dichtheidsonafhankelijk, r-Strategen zijn bestand tegen inteelt en planten zich vaak ongeslachtelijk of door zelfbevruchting voort. Deze strategie vinden we bij soorten die als pionier open plekken innemen of grof gestructureerde habitats bevolken, dat wil zeggen met veel exemplaren van weinig soorten een weinig complex verband vormen.

K is de afkorting van concurrentie. De soorten die de K-strategie volgen zijn specialisten. Hun ontwikkeling verloopt langzaam, ze zijn laat geslachtsrijp, hebben weinig nakomelingen, leven lang en worden groot. Deze soorten kennen een gecompliceerde broedzorg. Ze zijn gespecialiseerd in concurrentie, hun sterfte is dichtheidsafhankelijk, ze worden gekenmerkt door een sterke territoriumdrift, planten zich bisexueel voort en zijn niet bestand tegen inteelt. De K-strategen zijn slechte kolonisten. Ze verschijnen na de r-strategen en leven in stabiele systemen die uit vele kleine populaties van verschillende soorten bestaan.

De indeling in r- en K-strategen is abstract. Elke soort kent zijn eigen combinatie van r- en K-eigenschappen. De r-strategen zijn de eerste (re)kolonisten en worden bij meer stabiele omstandigheden opgevolgd door K-strategen. In het geval van het ecologisch herstel van de Rijn is de terugkeer van rstrategen het gemakkelijkst te realiseren. In feite is





8 en 9. De Kaspische slijkgarnaal is de succesvolste nieuwkomer in de Rijn. Op dit moment is het zelfs de dominante diersoort in de rivier. In zijn verspreidingsgebied bedekt hij alle harde substraten met zijn modderige woonbuisjes. Daarmee verdringt hij andere soorten die het ook van een harde ondergrond moeten hebben.



INTERMEZZO II

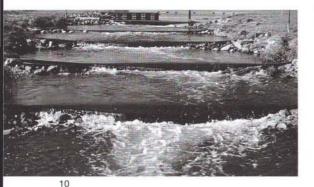
dit nu aan de gang. De vele exotische nieuwkomers in de Rijn volgen ook de r-strategie. Zo zijn de tijgerplatworm (voortplanting door deling, opportunistische predator) en de Kaspische slijkgarnaal (snelle voortplanting, opportunistische filtreerder) zeer succesvol. Aan de andere kant van de reeks (K-strategie) staat bijvoorbeeld de steur, die pas na zeven jaar of langer geslachtsrijp is, vaste paaiplaatsen kent, een grote ouderdom bereikt (mannetjes 20, wijfjes meer dan 40 jaar), een gecompliceerd trekgedrag (zee-zoetwater) vertoont en een kleine populatie-omvang kent (in de Rijn zijn er nooit meer dan 3000 geweest). De steur komt niet meer voor in de Rijn en zijn spontane terugkeer is door de genoemde eigenschappen zeer onwaarschijnlijk. Het uitzetten van dergelijke Kstrategen heeft alleen zin als voor de habitats van deze soorten voldoende stabiliteit kan worden gewaarborgd.

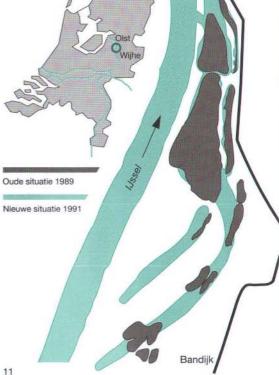
Intermezzo II) die in korte tijd grote aantallen nakomelingen voortbrengt.

De Kaspische slijkgarnaal ontwikkelt zich ten koste van andere rivierbewoners. Deze slijkgarnalen filteren enorme hoeveelheden zwevende deeltjes uit het rivierwater. Daarmee voorzien zij in hun voedselbehoefte en bouwen ze hun woonbuisjes. Dit betekent een mogelijke voedselconcurrentie met andere filtreerders, waaronder het dierlijk plankton. Het vastleggen van zwevend materiaal brengt bovendien veranderingen van de rivierbodem met zich mee. Kaspische slijkgarnalen zetten het harde substraat van de stenen van de kribben om in een modderige ondergrond. Daardoor gaan soorten die afhankelijk zijn van hard, onbegroeid substraat, zoals de driehoeksmossel, in aantal achteruit. Door zo'n achteruitgang verschuiven waarschijnlijk de bestaande voedselrelaties in de Rijn. Zo zullen de duikeenden die van driehoeksmosselen uit de rivier leven hun voedsel elders moeten gaan zoeken.

Wat is nog mogelijk?

Voor de verdere sanering van de Rijn is in de eerste plaats een verbetering van de waterkwaliteit noodzakelijk. Met name de gehalten aan meststoffen, microverontreinigingen en zouten moeten omlaag. De giftigheid van het Rijnwater wordt steeds meer bepaald door organische microverontreinigingen en steeds minder door zware metalen. Bij verdere sanering moeten vooral de verspreide bronnen, zoals ongezuiverde lozingen van huishoudens en bemesting





 Vistrappen, zoals deze bij Linne in de Maas, kunnen wellicht ook worden toegepast bij stuwen

11 en 12. Bij Olst en Wijhe heeft men de zomerdijk van een uiterwaard doorgestoken en een aantal plassen via stroomgeulen verbonden. De proef moet in de Rijn. Trekvissen kunnen de vistrap wel stroomopwaarts passeren maar de stuw niet.

duidelijk maken of de natuur zich in zo'n gebied kan ontwikkelen tot een levensgemeenschap die lijkt op die langs natuurlijke rivierlopen.

die via het grondwater de rivier bereikt, worden aangepakt. Dit vereist een grensoverschrijdend, integraal beheer van het grond- en oppervlaktewater in het gehele stroomgebied van de Rijn. Illegale lozingen en calamiteiten vormen onzekerheden die de sanering van de rivier ernstig kunnen belemmeren. Daarnaast vormen de vervuilde waterbodems en uiterwaardbodems nog een probleem.

De sterk eutrofiërende invloed van de Rijn moet worden aangepakt vanuit de behoefte aan meststoffen van de verschillende groepen



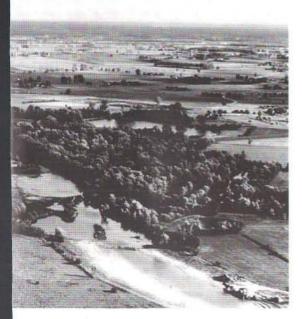
plantaardig plankton, zoals kiezelwieren, groenwieren en blauwwieren. Dit betekent dat niet naar een bepaalde meststof moet worden gekeken, maar naar de verhoudingen van groeibepalende stoffen (silicium, stikstof en fosfaat) voor deze verschillende groepen. Zo is het fosfaatgehalte van veel door de Rijn gevoede wateren nu zo hoog, dat vooral groenen blauwwieren ervan profiteren, ten koste van de kiezelwieren, waarvoor silicium de beperkende factor is.

Aanpassingen in de vorm (de *morfologie*) van het gehele Rijnstroomgebied zijn noodzakelijk voor de terugkeer van tal van verdwenen soorten. Zo wordt gewerkt aan de aanleg en verbetering van vispassages bij stuwen, zodat riviervissen hun paaiplaatsen weer kunnen bereiken. Voor de terugkeer van vele planten zijn, naast verbetering van de waterkwaliteit, stromingsluwe plaatsen nodig. Andere organismen zijn vooral gebaat bij het herstel van grote gebieden met ooibossen langs de rivier of de aanleg van een nevengeul.

Om de natuurontwikkeling in het rivierengebied te bevorderen is een aantal proefprojecten van start gegaan, zoals in de Duursche Waarden langs de IJssel tussen Olst en Wijhe.

In deze uiterwaard is de zomerdijk doorgestoken om de rivierdynamiek in het gebied te vergroten en zo natuurontwikkeling te bevorderen. Helaas leidt de op zich gunstige verhoging van de rivierdynamiek ook tot een achteruitgang van natuurwaarden. Waar de zomerdijk is doorgestoken, komt bij hoge waterstanden vaker verontreinigd rivierwater de uiterwaard binnen, waardoor de kwaliteit van water en bodem in stilstaande plassen verslechtert. Een mogelijk alternatief vormt de aanleg van een nevengeul. Doordat het water in deze geul voortdurend stroomt, kunnen vervuilende stoffen zich er niet ophopen. Om de natuurontwikkelingsplannen in het Rijngebied te doen slagen, is nog veel onderzoek naar de mogelijkheden van herstel nodig.

Gezien het belang van de Rijn als waterweg en van het land achter de winterdijken voor landbouw en bewoning, zijn morfologische veranderingen in het stroombed van de rivier of in de uiterwaarden alleen mogelijk binnen de voorwaarden die ten behoeve van de scheepvaart en de preventie van overstromingen zijn gesteld. Dit betekent dat habitatverbeteringen eigenlijk alleen in de uiterwaarden mogelijk zijn.



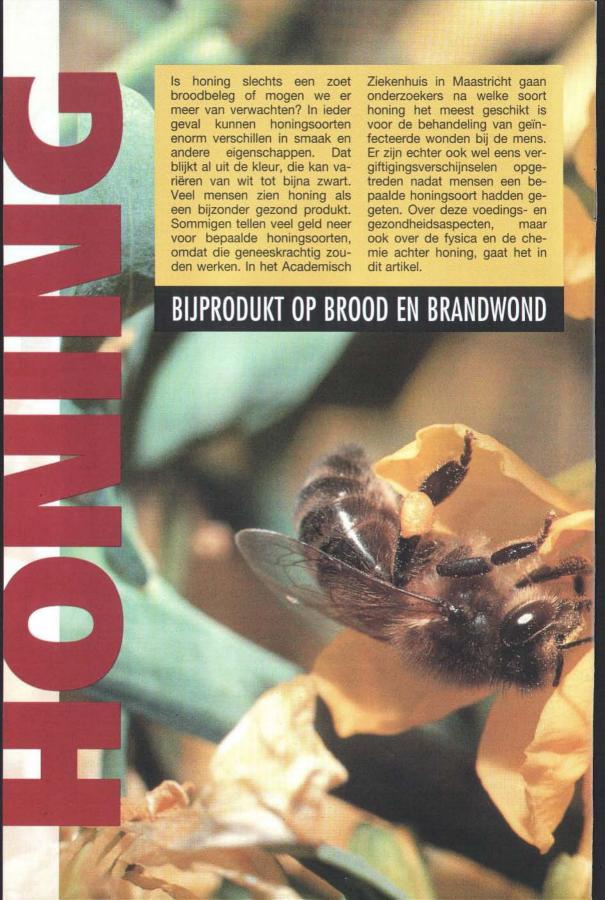
Literatuur

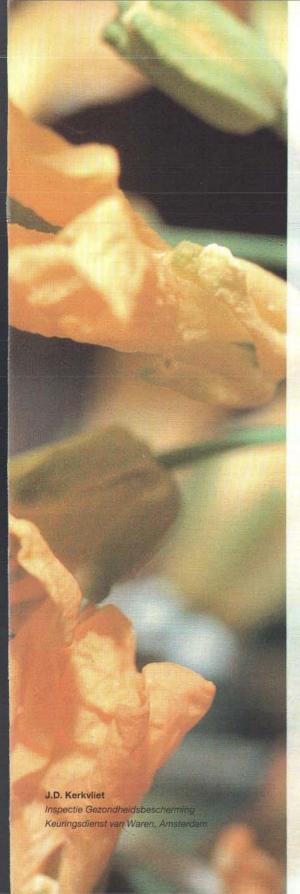
Brink FWB van den, Velde G van der, Vaate A bij de. Amphipod invasion on the Rhine. Nature 1991; 352: 576. Brink FWB van den, Klink AG, Velde G van der. Natuurontwikkeling in uiterwaarden door verhoging rivierdynamiek? De Levende Natuur 1993; 94: 2, 59-64.

Velde G van der, Urk G van, Brink FWB van den, Bruggeman W, Colijn F, Leuven RSEM. Rein Rijnwater, een sleutelfaktor in chemisch ecosysteemherstel. In: Hekstra GP, Linden FJM van, red. Flora en fauna chemisch onder druk. Wageningen: Pudoc, 1991, pag. 231-266.

Bronvermelding illustraties

William Reppel, Den Haag: pag. 264-265 (achtergrond) Matthijs Reppel, Dordrecht: pag. 264-265 (inzet) De overige afbeeldingen bij dit artikel zijn afkomstig van de auteurs.





Honing is een produkt van vooral plantaardige oorsprong. De grondstof is het suikerhoudende floëemsap van de plant, dat door de bast naar de wortels en de bloemen stroomt. De bij kan dat sap op twee manieren bereiken, namelijk via de bloem en via de honingdauw.

Nectar

Iedereen kent het beeld van de honingbij, die vliegt van bloem tot bloem. De bij verzamelt nectar, en dat is niets anders dan floëemsap dat door de bloem via de nectarklieren (nectariën) wordt uitgescheiden. Bij de uitscheiding verandert de sapsamenstelling wat, doordat de nectarklier sommige stoffen absorbeert. In principe bevat de nectar – afhankelijk van de plantesoort - vijf tot tachtig procent opgeloste suikers, geringe hoeveelheden aminozuren en sporen mineralen, vitaminen, organische zuren en nog enkele andere stoffen. De suikers zijn in hoofdzaak glucose, fructose, maltose en sacharose. Zo bevat de nectar van koolzaad bijna uitsluitend glucose en fructose en die van alpenroosje bijna uitsluitend sacharose.

De bij kan zich ook aan het floëemsap tegoed doen via de zogenaamde honingdauw. Dit proces verloopt minder poëtisch dan het traditionele bij-op-bloemmechanisme. Sommige bladluissoorten boren met hun scherpe monddelen gaten in bladeren of takjes van kruiden en bomen en krijgen zo het floëemsap binnen. Ze nemen daaruit vooral de stikstofverbindingen op en scheiden het grootste deel van de binnengekregen suikers weer uit. Een deel van de sacharose wordt tijdens de darmpassage in glucose en fructose gesplitst, terwijl een ander deel een koppelingsreactie met glucosemolekulen ondergaat, waarbij tri- en tetrasachariden zoals melicitose ontstaan (zie Intermezzo I).

De luizen laten de suikeroplossing op de plantenbladeren achter. Deze dampt in tot een kleverig laagje, dat we honingdauw noemen. IJverig verzamelen bijen deze zoete waar als bron voor honing. De in Midden-Europa zo gewaardeerde dennenhoning is van deze oorsprong. Deze honing is helder, donkerbruin van kleur en het mineralengehalte is voor honing vrij hoog (0,6 - 1,0 %). Om deze honing te winnen, plaatsen imkers in dat deel van Europa speciaal in juli en augustus bijenkasten in de dennenbossen, zoals in het Zwarte Woud.

Het lijkt erop dat de honingdauw tweede keus is voor de bijen. Ze gaan het pas inzamelen als ze geen goede nectarbronnen kunnen vinden. Als er ook geen honingdauw beschikbaar is, moeten bijen andere mogelijkheden zoeken. Dit kan verrassende resultaten opleveren. Zo komen van tijd tot tijd verontruste imkers bij de Keuringsdienst van Waren aankloppen met grasgroene, feloranje of gitzwarte honing. Bij onderzoek blijkt dan dat hun bijen in wanhoop groengekleurde suikerstroop voor de pisang-ambonfabricage hebben verzameld of de zoete, zwarte noritperskoek van de suiker- en stroopfabriek. Dergelijke uitzonderingsprodukten vallen uiteraard buiten de warenwettelijke definitie van honing en mogen niet als honing worden verkocht.

ventig procent droge stof. In de cellen verdampt er nog meer vocht, tot het droge-stofgehalte rond tachtig procent bedraagt. Dan pas is de honing rijp en sluiten de bijen de cel met een wasdekseltje.

Tijdens het transport van bij tot bij raakt de honinggrondstof steeds meer vermengd met spijsverteringssappen en dus met enzymen van de bij. Zo komen de in advertenties soms hooggeprezen enzymen sacharase, glucoseoxydase, amylase en fosfatase in honing terecht.

Het droge-stofgehalte van honing is enigszins afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de omgeving. In vochtige gebieden ligt het gemiddelde watergehalte van honing hoger dan in droge streken. Voor de honing

Bewerking door de bij

1

De bijen die nectar of honingdauw hebben ingezameld, slaan deze vloeistoffen op in hun honingmaag en gaan er mee naar de bijenkast. Daar geven ze hun honingmaaginhoud door aan bijen die huisdienst hebben. Zo'n bij geeft de nectar met zijn lange tong weer door aan een volgende huisbij, tot het produkt ten slotte in een cel van de raat wordt gedeponeerd. Het is echter niet alleen een kwestie van doorgeven. De huisbij brengt de inhoud van de honingmaag over op de onderzijde van haar tong, waar de druppel in een laagje uitvloeit. Daarna zuigt ze het geheel weer op. Dit proces herhaalt ze diverse malen gedurende circa twintig minuten. Aangezien in de bijenkast een temperatuur van 35°C heerst, verdampt tijdens deze bewerking een deel van het water en ontstaat er een halfprodukt met circa ze-

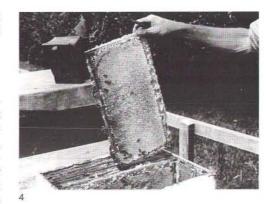


kwaliteit kan dit gevolgen hebben. Honing met een vochtgehalte van meer dan 19 procent kan gemakkelijk gaan gisten.

Chemische veranderingen

Tijdens het rijpen van honing treden er chemische reacties op. Het enzym sacharase splitst sacharose uit de grondstof in glucose en fructose. Ook werkt dit enzym transglucosiderend, waardoor glucose, zij het in geringe hoeveelheden, wordt overgedragen op sacharose en er erlose ontstaat (zie Intermezzo I). Dit is een trisacharide dat in honing remmend werkt op het uitkristalliseren van glucose.

Een ander enzym dat bij de honingrijping een rol speelt, is glucose-oxydase. Dit enzym



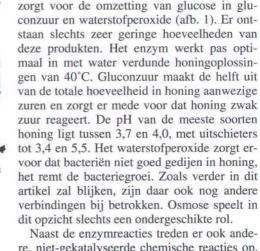
4. Als de afstand tussen de raten 5 tot 8 millimeter bedraagt, is het verwijderen van de raten om ho-

ning te winnen vrij eenvoudig; de bijen worden met tabaksrook uit de honingkamer verdreven.

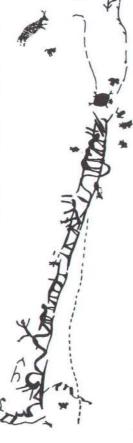
1. Het enzym glucoseoxydase zet ß-D-glucose om in een D-glucono-δlacton. Bij deze reactie komt waterstofperoxide vrij. Het lacton kan vervolgens reageren met water tot D-gluconzuur.

2. Het houden van bijen is een populair ambacht. Er zijn in Nederland en België meer dan tienduizend imkers. Bij het slingeren verwijdert de imker met een soort handcentrifuge de honing uit de raten. Nadat luchtbellen zijn verdwenen en een eventuele filtratie, is de honing gereed voor consumptie.

3. Oude rotstekeningen die men heeft gevonden bij Castellon in Spanje, laten zien hoe mensen na een klauterpartij op een ladder de honing uit een bijennest halen.



Naast de enzymreacties treden er ook andere, niet-gekatalyseerde chemische reacties op. Een voorbeeld daarvan zijn de reacties van het Maillard-type, die bekendstaan als niet-enzymatische bruining. Hierbij reageert proline, afkomstig van de bijen en het belangrijkste aminozuur in honing, met de reducerende suiker glucose. Deze reactie vindt plaats in een zwak zuur milieu bij 35°C. Via het tussenprodukt 3deoxyoson ontstaan uiteindelijk geelachtig gekleurde verbindingen. De eerste stappen van deze reactie zijn goed bekend (zie Intermezzo II). Het deoxyoson kan ook verder reageren met aminozuren. Daarbij ontstaan (na transaminering en decarboxylering) de overeenkomstige aldehyden van aminozuren, die een zwakke bijdrage aan het aroma leveren.



Plantspecifieke stoffen

De plant draagt veel meer bij aan het aroma van de honing dan de bij. Enkele geurige honingbestanddelen ontstaan uit het aminozuur fenylalanine, dat van plantaardige oorsprong is. Plantaardige enzymen zetten dit om in trans-kaneelzuur dat, eveneens enzymatisch, via para-cumaarzuur wordt omgezet in koffiezuur. Langs een andere enzymatische weg ontstaat uit dezelfde uitgangsstof, fenylalanine, het fenylpyrodruivezuur en daaruit fenylazijnzuur. De concentraties van deze produkten variëren sterk, al naar gelang de botanische oorsprong van de honing. In een kilo heidehoning kan bijvoorbeeld een halve gram fenylazijnzuur voorkomen, terwijl er in koolzaadhoning minder dan 10 mg kg-1 aanwezig is. Vooral in heidehoning is het afbraakprodukt van kaneelzuur, benzoëzuur, in ruime mate aanwezig (ca. 150 mg kg⁻¹).

Alhoewel we honing kunnen herkennen op grond van zijn chemische samenstelling, gebruiken we daarvoor een microscopische methode: de stuifmeelanalyse. In de nectar bevindt zich wat stuifmeel van de plant die de bij heeft bezocht. We kunnen stuifmeel van





- 5. Bijen vergaren nectar uit nectarklieren van bloemen. Daarbij kunnen ze ook stuifmeel meenemen. Het soort honing dat de bijen maken, is afhankelijk van de bloemen waar ze de nectar op halen. De honing waar het in dit artikel om gaat, is afkomstig van de gewone honingbij Apis mellifera. Honing uit exotische gebieden is vaak geproduceerd door andere honingbijensoorten.
- Bij het herhaaldelijk overgeven van de nectar uit de honingmaag aan een volgende bij, verdampt een deel van het nectarvocht. Als de nectar tenslotte in de honingcel verder is ingedikt, sluiten de bijen de cel af.



diverse planten gemakkelijk onderscheiden. (afb. 7)

Een ander plantspecifiek kenmerk is de kleur van honing. Zo is koolzaadhoning wit en is boekweithoning bijna zwart. Opmerkelijk is ook dat heidehoning (verkregen uit struikheide, Calluna vulgaris) ongeveer twee procent eiwit bevat, terwijl dit bij andere soorten slechts eentiende procent bedraagt. Dit eiwit veroorzaakt het typisch thixotroop gedrag van deze honingsoort: we kunnen een pot vloeibare, ongekristalliseerde heidehoning na een rustperiode van een aantal uren rustig omkeren, het oppervlak zal niet zonder meer uitlopen; als we even roeren treedt er wèl vervloeiing op. Deze door mechanische invloeden opgewekte overgang van de sol- naar de geltoestand noemen we thixotropie.

Sommige honingsoorten bevatten voor de mens van nature giftige bestanddelen. Enkele jaren geleden deed zich een dergelijke vergiftiging voor. Vier studenten maakten een trektocht door de Himalaya en hadden voor hun

voedselvoorraad in een Nepalees bergdorpje lokale honing gekocht. Nog geen half uur na consumptie van tien tot honderd gram van deze honing kregen ze pijn in de borst- en hartstreek, een tinteling in vingers en tenen en een 'high' gevoel, waarna ze flauwvielen. Drie uur later waren de symptomen verdwenen en herstelden ze weer.

Teruggekomen in Nederland lieten ze hun honing door de Keuringsdienst van Waren onderzoeken. Stuifmeelanalyse wees uit dat de honing vooral afkomstig was van een rododendronsoort. Uit chemisch onderzoek bleek dat inderdaad het voor sommige rododendronsoorten karakteristieke grayanotoxine aanwezig was en wel in hoeveelheden van ongeveer 30 mg kg⁻¹. Deze hoeveelheid is voldoende om de genoemde verschijnselen teweeg te brengen. Het toxine komt ook voor in de honing van de Pontische rododendron uit Turkije. De lokale bevolking is er ook gevoelig voor. Overigens bevatten niet alle rododendronsoorten dit toxine. We kunnen de honing van alpenroosjes (ook een rododendronsoort) uit Zwitserland en Italië veilig consumeren. Deze honing geldt in die landen zelfs als een ware delicatesse.

Tijdens de opslag

Direct na het slingeren (winnen) is honing helder. Een tot twee maanden later zijn de meeste soorten echter uitgekristalliseerd. Honingsoorten kunnen op dit punt sterk verschillen. Koolzaadhoning kristalliseert al na drie dagen uit, maar acaciahoning kan jarenlang helder blijven. Dit verschil hangt vooral samen met de glucosegehalten van honing (afb. 8). De meeste honingsoorten kunnen we zien als oververzadigde oplossingen van glucose, waaruit glucose tenslotte kristalliseert als α-D-glucosemonohydraat. Om voorspellingen te doen over het kristallisatiegedrag, moeten we weten wat de glucose/water-verhouding is. Als deze groter is dan 2,1, kristalliseert de honing uit; bij waarden lager dan 1,7 blijft de honing helder.

Bij sterke oververzadiging groeien de kristalkiemen snel: er ontstaan grote prisma's van glucose-monohydraat. Dit veroorzaakt een keiharde, moeilijk smeerbare honing, waarmee boterhammen volledig uit hun model kunnen worden getrokken. Vandaar dat imkers en honingimportbedrijven dit soort ho-

Structuur en nomenclatuur van suikers

Suikers behoren tot de koolhydraten. Enkelvoudige suikers monosachariden - zijn polyalcoholen, met twee tot zes koolstofatomen. Monosachariden met zes koolstofatomen noemen we ook wel hexosen. Deze suikers hebben aan vijf koolstofatomen een hydroxylgroep gebonden en aan het zesde een aldehydgroep, als het koolstofatoom eindstandig is (aldohexosen), of een ketogroep, in het geval dat het koolstofatoom niet eindstandig is (ketohexosen).

Vier van de zes koolstofatomen zijn asymmetrisch omringd, want er zijn vier onderling verschillende atoomgroepen aan gebonden. Deze asymmetrie resulteert in verschillende (theoretisch 24=16) stereoisomeren, bijvoorbeeld D-glucose, L-glucose, D-mannose en D-galactose, om enkele bekende aldohexosen te noemen. De CHOH-groep die het verst van de carbonylgroep is verwijderd, bepaalt of we met een D-vorm dan wel een L-vorm te maken hebben. Wordt in de klassieke Fischer-projectie deze groep naar rechts getekend, dan heeft men met een D-vorm te maken, naar links met een Lvorm. Onafhankelijk hiervan bezitten suikers de eigenschap om, opgelost in water, het trillingsvlak van lineair gepolariseerd licht te draaien. Rechtsdraaiend glucose wordt bijvoorbeeld aangegeven met de notatie D(+)-glucose, waarbij de D op de oriëntatie van de hydroxylgroep aan het vijfde, asymmetrisch omringde koolstofatoom slaat en de aanduiding (+) op het feit dat deze stof het gepolariseerd licht rechtsom laat draaien.

De genoemde aldehyd- of ketogroep van de hexosen reageert in waterige oplossing met een verder afgelegen hydroxylgroep van hetzelfde molekuul tot een ringvormig halfacetaal, dat bestaat uit een viifring (furanoside) of een zesring (pyranoside). Hierdoor ontstaat een nieuw asymmetrisch centrum; er zijn dan ook twee halfacetalen mogelijk: de α- en de B-vorm. Voor zowel D(+)-glucose als L(-)-fructose, de hoofdbestanddelen van honing, zijn de formules voor de suikers zelf in Fischer-projectie en voor hun halfacetaal in Fischerprojectie

Melicitose

O- α -D-glucosyl-(1 \longrightarrow 3)-O- β -D-fructosyl-(2 \longrightarrow 1)- α -D-glucoside

en in de thans gebruikelijke Haworth-projectie aangegeven met de nummering van de koolstofatomen.

Als twee monosachariden zich chemisch met elkaar verbinden, komt er een molekuul water vrij en ontstaat er een disacharide. Zo is sacharose opgebouwd uit glucose en fructose en maltose uit twee glucosemolekulen. Oligosachariden zijn opgebouwd uit drie of meer monosacchariden. In honing komen vooral melicitose en erlose voor.

I-3. Door koppeling van enkelvoudige suikers kun-

nen diverse di- en tri-

sachariden ontstaan, zo-

als maltose, sacharose,

erlose en melicitose.

op het vijfde koolstofa-

toom, kunnen er twee

ontstaan, hier weergege-

ven in de Fischerprojectie

(boven) of in de Haworth-

ringvormige

molekulen

1-1

Erlose

Sacharose

α-D-glucosyl-β-D-fructoside

Maltose

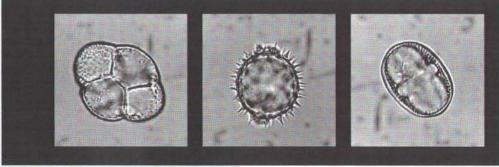
O-α-D-glucosyl-(1→4)-D-glucose

1-3

ning bewerken tot uitstekend smeerbare crèmehoning. Hiertoe enten zij de vloeibare honing met een kleine hoeveelheid van een vorige partij crèmehoning of roeren ze de honing. In het laatste geval worden de – met het oog niet waarneembare – grote glucosekristallen verdeeld in zeer kleine kristalfragmenten. In beide gevallen kristalliseert de overmaat glucose langzaam uit op de vele aanwezige kiemkristallen en ontstaat een goed hanteerbaar produkt. In principe kunnen alle (kristalliseerbare) honingsoorten zo worden bewerkt.

Honingen met een wat hoger watergehalte (meer dan negentien procent) vormen een goede voedingsbodem voor bepaalde gisten. Als er daarnaast spontaan kristallisatie is opgetreden, bevat de bovenlaag meer vocht; in die bovenlaag kan gisting plaatsvinden door suikertolerante (osmosfiele) gisten. Het produkt krijgt zo op den duur een schuimlaag, smaakt naar appelcider en is dan minder geschikt voor consumptie. Men mag het overigens niet verwarren met mede, een honingdrank die wordt gemaakt van sterk verdunde honing en met specifieke gistculturen. Het lijkt erop dat in geënte of geroerde honingen, wellicht door een gunstiger wateractiviteit, gisten minder snel tot ontwikkeling komen.

De wateractiviteit, aangegeven als a_w-waarde, duidt op de waterdampspanning boven een levensmiddel in een afgesloten ruimte, gedeeld door de waterdampspanning boven water bij dezelfde temperatuur en druk. Voor



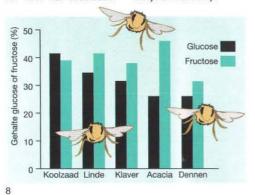
7

7. Bij het vaststellen van het type honing, is het stuifmeel zeer belangrijk. Deze pollen zijn afkomstig van struikheide (Calluna vulgaris), zonnebloem (Helianthus annuus) en korenbloem (Centaurea cyanus). De pollen zijn uit een honingoplossing gecentrifugeerd (vergroting ca. 500x).

8. Het gehalte aan glucose en fructose verschilt van honing tot honing.

9. Aan de Landbouwuni-versiteit in Wageningen staan een aantal bijenkasten voor het onderzoek. Deze gehalten zijn van invloed op het kristallisatiegedrag van de honing.

Daar bestudeert onder meer een bedreiging van de bijenteelt, namelijk de varroamijt.





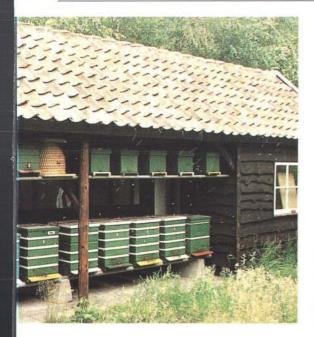
zuiver water is a_w gelijk aan 1, voor beschuit is het 0,2. Deze term komt uit de microbiologie en is een maat voor de bederfelijkheid van diverse levensmiddelen. Er is een sterk verband met het vochtgehalte van een produkt, maar de a_w-waarde is een betrouwbaarder parameter voor het vrije-vochtgehalte dan het vochtgehalte op zichzelf.

Een belangrijke chemische reactie die plaatsvindt tijdens de opslag van honing, is de vorming van 5-hydroxymethylfurfural (HMF) uit fructose. Vooral bij langdurige verwarming van honing kunnen grote hoeveelheden van deze verbinding ontstaan, maar ook tijdens de opslag bij kamertemperatuur gaat dit proces langzaam verder. Gemiddeld ontstaat er per maand één à twee milligram HMF per kilo honing, afhankelijk van de pH van het produkt. HMF is niet schadelijk voor de mens, maar vanouds dient het gehalte aan deze stof als kwaliteitsparameter voor honing. Als er meer dan veertig milligram HMF per kilo aanwezig is, mag men het produkt volgens de wettelijke voorschriften geen honing meer noemen. Aangezien vers gewonnen honing slechts een HMF-gehalte van één tot vijf milligram per kilo bezit, volgt dat na een bewaartijd van ongeveer twee jaar de grenswaarde is bereikt. De

honing is dan van mindere kwaliteit; aangeduid als bakkershoning of industriehoning mag het nog wel worden verhandeld.

In België staan de wettelijke eisen voor honing vermeld in het Koninklijk Besluit betreffende honing, in Nederland in het Honingbesluit van de Warenwet. In alle EG-landen gelden dezelfde eisen voor honing.

TABEL	De samenstelling van honing
Bestanddeel	
Water	
Suikers	Fructose (vruchtesuiker) Glucose (druivensuiker) Sacharose (biet- en rietsuiker) Maltose Hogere suikers
Vrije zuren	(gluconzuur)
Totaal zuur	(gluconzuur)
Diastasegetal	(amylase-activiteit)
Stikstof	
рН	
As (mineralen)	
Pollenkorrels	(per 10 g honing)
Hydroxymethyl	furfural (HMF)
Niet in water or	olosbare stoffen



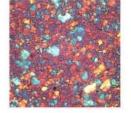
Is honing gezond?

Afgaande op informatie uit sommige folders zijn er nauwelijks produkten die gezonder zijn dan pure honing. Vanuit de voedingshoek daarentegen kent men aan honing niet meer waarde toe dan aan suiker en die waarde is maar uiterst laag. Het verschijnsel van de giftige honingen toont echter dat honing meer is dan alleen maar suiker; er zijn positieve of negatieve gezondheidsaspecten mee verbonden.

Een positief aspect is de bacteriegroeiremmende en bacteriedodende eigenschap van honing. De laatste jaren valt een opmerkelijke tendens te constateren om mensen met geïnfecteerde wonden die niet met antibiotica genezen, met honing te behandelen. Verslagen hierover komen met name uit landen als Tanzania, Thailand en Israël. Het blad Newsweek vermeldde in 1990 experimenten met honing (gemengd met kruiden en olie) bij Chinese patiënten met derdegraads brandwonden, met

Een ander verschijnsel dat optreedt bij de verwarming van honing is de afname van de enzymactiviteit. Als we honing gedurende een etmaal verwarmen bij 60°C, daalt het gehalte aan sommige enzymen aanzienlijk. Vandaar dat op sommige honingpotjes etiketten ons informeren met verhalen over de zeer zorgvuldige winning en afvulling van de potjes.





10

Waarde	Spreiding	Eisen Honingbesluit (Warenwet)
17,20%	13,4 - 22,9%	Maximaal 21% (heide en klaver 23%)
38,20%	27,2 - 44,3%	Glucose en fructose samen tenminste 65%
31,30%	22,0 - 40,7%	(voor honingdauwhoning 60%)
1,30%	0,2 - 7,6%	Maximaal 5% (voor sommige soorten 10%)
7,30%	2,7 - 16,0%	
1,50%	0,1 - 8,5%	
0,43%	0,13 - 0,93%	Maximaal 0,78%
0,57%	0,17 - 1,17%	
20,80	2,1 - 61,2	Tenminste 8 eenheden
0,04%	0,0 - 0,13%	
3,91	3,42 - 6,10	
0,17%	0,02 - 1,03%	Maximaal 0,6 % (honingdauwhoning 1%)
	10000 - 100000	In een soorthoning moet stuifmeel aanwezig zijn
		Hooguit 40 mg per kg
		Maximaal 0,1%, voor pershoning 0,5%

 Polarisatiemicroscopische opnamen laten duidelijk het verschil zien tussen de grootte van de glucosekristallen in spontaan uitgekristalliseerde (links) en geroerde honing (crèmehoning, rechts).

Maillard-reactie in honing

Vrije aminozuren in levensmiddelen kunnen reageren met reducerende suikers. Daarbij ontstaan geel- tot bruingekleurde verbindingen. De Fransman Maillard beschreef in 1912 als eerste dit type reactie. Later bleek dat deze reactie veelvuldig voorkomt bij bewaring en bewerking van levensmiddelen. Voorbeelden zijn de bruine kleur van gebakken vis, gebraden vlees, beschuit en bier. Ook bij kamertemperatuur treedt deze reactie langzaam op en het donker kleuren van honing bij langdurige bewaring is op reacties van het Maillard-type terug te voeren. Volgens de Duitse onderzoeker Deifel verlopen de beginstappen van dit proces in honing als volgt: het aminozuur proline (het belangrijkste aminozuur uit honing) reageert met glucose, waarbij via een Schiff-base glycosylaminevorming optreedt. Uitgaande van de Schiff-base kan ook een Amadori-omlegging plaatsvinden, waardoor tenslotte 1-deoxy-1-L-proline-D-fructose ontstaat. Via een andere weg ontstaat uit de Schiffbase 3-deoxyoson, dat weer met andere aminoverbindingen kan reageren. Hiervan zijn de reactiemechanismen echter nog niet bekend. Het resultaat is dat zelfs van huis uit witte honingsoorten na jaren bewaren bij kamertemperatuur een donkerbruine kleur krijgen.

II-1. De verbinding 3deoxyoson speelt een rol bij de bruiningsreacties in honing. Deze verbinding ontstaat uit D-glucose via enkele tussenprodukten waarin het aminozuur L-proline aan de sulker is gekoppeld. Tenslotte komt het aminozuur weer vrij, zodat het met een volgend glucosemolekuul kan reageren.

bijzonder gunstige resultaten. Onderzoekers van het Academisch Ziekenhuis in Maastricht hebben in 1991 een aantal eisen en testmethoden opgesteld voor het gebruik van honing bij wondbehandeling. Volgens die eisen behoeft de honing niet steriel te zijn, maar moeten ziekteverwekkende bacteriën wel afwezig zijn. De honing mag niet verhit zijn en mag (vrijwel) geen restanten bestrijdingsmiddelen bevatten. Van de onderzochte – niet verhitte – honingsoorten, bleek lindehoning de krachtigste bacteriegroeiremmer te zijn. Volgens

Nieuw-Zeelandse onderzoekers zou manukahoning uit Nieuw-Zeeland een zeer krachtige antibacteriële werking vertonen.

De oorzaak van de antibacteriële werking moeten we niet direct zoeken in het osmotisch effect of in de zuurgraad. Deze spelen slechts een ondergeschikte rol. Belangrijk zijn vooral de aanwezigheid van het enzym glucose-oxydase, dat waterstofperoxide levert, en de aanwezigheid van sommige plantspecifieke stoffen, waaronder een aantal flavonoïden zoals 5,7-dihydroxyflavanon (pinocembrine).

11. In de jaren zestig ontdekte de Amerikaan White. dat de remming van de bacteriegroei door honingoplossingen samenhangt met de activiteit van het glucose-oxydase. Vroeger werd de remmende werking toegekend aan het zogeinhibine. Maasnaamde trichtse onderzoekers ontdekten dat vooral lindehoning bacteriegroei remt. Thans onderzoekt men in het brandwondencentrum in Beverwijk de toepassing van honing bij brandwonden.

 Er zijn tal van soorten honing, variërend in kleur, smaak en vloeibaarheid.

0 1 2 3 4 5 Inhibinegetal
0 1 2 3 4 5 O Honinggehalte (%)
0 4 8 12 16 20 Honinggehalte (%)
0 6 9 9 Pruithoning Pru

De voedingswaarde van honing wordt bepaald door de suikers, die veruit de belangrijkste voedingsstof in honing zijn, en de kleine hoeveelheid aminozuren en enzymen. Het vitaminegehalte van honing is te verwaarlozen, met uitzondering van tijmhoning, dat relatief veel vitamine C bevat (ca. 600 mg kg⁻¹). Het gehalte aan minerale bestanddelen is vrij laag, maar ligt nog altijd een factor tien tot honderd hoger dan voor geraffineerde suiker. Overigens is honing zeer geschikt voor het natriumarme dieet: het natriumgehalte is niet hoger dan 50 mg kg⁻¹.

Honing is al duizenden jaren een populair voedingsmiddel. De meeste mensen zijn nu eenmaal zoetekauwen. En honing is ook een probaat middel tegen heesheid. De vele besproken gunstige en ongunstige werkingen van honing en de aangevoerde reactiemechanismen zullen de meeste mensen koud laten. De consument koopt honing toch vooral vanwege zijn consistentie, geur en smaak als gewaardeerd broodbeleg.



Literatuur

Belitz H-D. Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Berlijn: Springer Verlag, 1987.

Crane E. Honey. A comprehensive survey. Londen: Heinemann, 1975.

Deifel A. Die Chemie des Honings. Chemie in unserer Zeit, 1989; 23, 25-33.

Kerkvliet JD. Nederlanders eten per jaar 440 g honing. Bijen, 1992; 1, 163-165.

Molan PC. The antibacterial activity of honey. Bee World, 1992; 73, 5-25 en 59-76.

Postmes Th, Boogaard A van den, Hazen M. De bacteriostatische werking van honing. Analyse, 1991; 240-243.

Bronvermelding illustraties

Ambrosiushoeve, Hilvarenbeek: pag. 276-277, 5. VBBN, Wageningen: 2, 4.

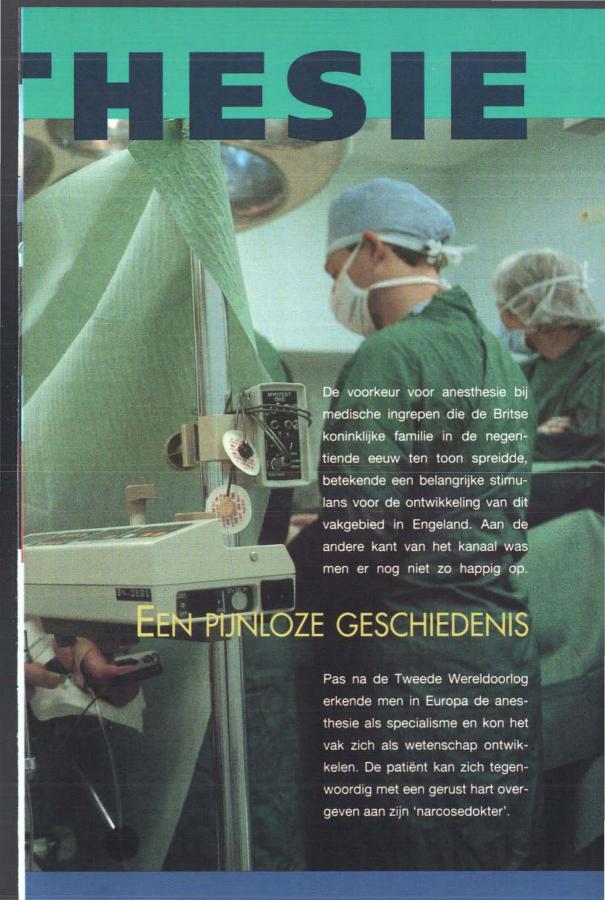
Vital Learning Co-operation, Omaha, Nebraska: 6.

Ors J. Beetsma, Vakgroep Entomologie, afdeling bijenonderzoek, Landbouwuniversiteit Wageningen: 9. Het Bijenhuis, Wageningen: 12.

Met dank aan dr Th. Postmes, Maastricht: 3, 11.

De afbeeldingen 1, 7, 8 en 10 zijn afkomstig van de auteur.

Leiderdorp

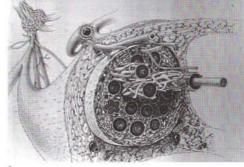


Op 5 november 1817 brengt de beoogde opvolgster van de Engelse troon, Charlotte, na een vijftig uur durende bevalling een levenloze zoon ter wereld. Eén dag later sterft ook zij. Deze twee sterfgevallen hebben niet alleen belangrijke gevolgen voor Europa, ook de ontwikkeling van de anesthesiologie wordt erdoor beïnvloed.

Wat de geschiedenis van Europa betreft: Leopold von Saksen-Coburg Gotha, de weduwnaar van Charlotte, kan veertien jaar later, in 1831, tot koning van België worden gekozen. Daarnaast komt in 1837 de Engelse troon vrij voor een nicht van Charlotte: Victoria. Zij zal tot 1901 het Britse koninkrijk regeren.

Naar aanleiding van de noodlottige bevalling van Charlotte wordt Sir Richard Croft, de arts die de bevalling leidde, in de pers aangeklaagd omdat hij geen maatregelen voor reanimatie had genomen. Hij had geen apparatuur voor beademing bij de hand en paste ook bij het kind geen kunstmatige beademing toe. Uiteindelijk pleegde Croft zelfmoord. Hoewel Croft geen anesthesist was, werd hem in 1817 verweten een handeling na te laten die tegenwoordig tot het takenpakket van de anesthesist behoort. 1 en 2. Slechts als pijnsignalen via zenuwen onze hersenen bereiken, voelen we daadwerkelijk pijn. De gewaarwording van pijn kan dan ook worden uitgeschakeld door rond de zenuwen een stof aan te brengen die de impulsgeleiding onmogelijk maakt. De anesthesist kan zo'n stof rond bepaalde zenuwen aanbrengen.





Anesthesie en narcose

narcose het in slaap brengen bij een operatie

anesthesie
het gevoelloos maken tijdens een operatieve
ingreep, al dan niet in slaap

anesthesist de specialist die de anesthesie toepast

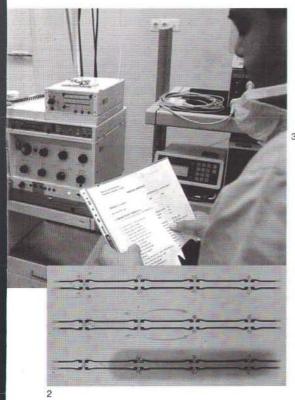
anesthesioloog idem, deze term benadrukt het wetenschappelijk karakter meer

anesthesiologie de leer de anesthesie

Het begrip anesthesie wordt vooral in Engeland gebruikt. In Nederland en België gebruikt men evenals in Amerika de term anesthesiologie.

Tot in de tweede helft van de negentiende eeuw, vraagt men zich af of narcose een zegen of een vloek is. Niemand minder dan koningin Victoria helpt de anesthesie een stuk vooruit. Bij de geboorte van haar achtste kind, prins Leopold, vraagt zij aan haar lijfarts chloroform toe te dienen. Dit gebeurt, en Victoria spreekt later in het openbaar haar waardering uit. De historische term *chloroform* à la Reine komt hier vandaan. Ook bij de geboorte van haar volgende kind, prinses Beatrice, krijgt Victoria chloroform. De conclusie luidt: narcose is een zegen.

De ontwikkeling van de anesthesiologie in Nederland en België verloopt traag. Zelfs aan het begin van deze eeuw is de vraag 'zegen of vloek?' nog niet afdoende beantwoord. De Amsterdamse chirurg professor Lanz schrijft in 1904: "De gruwel der algemeene narcose is het grootste euvel waaraan de moderne chirurgie nog mank gaat". Na de Tweede Wereldoorlog bleek dat het Europese vasteland een achterstand had opgelopen in de anesthesiolo-



3 en 4. In het Academisch Ziekenhuis te Leiden nemen de anesthesist en zijn assistent voor elke operatie een uitgebreide checklist door. Pas als alles in orde blijkt te zijn, brengt men de patiënt in slaap. Het idee voor deze werkwijze is afkomstig uit de cockpit van een verkeersvliegtuig, waar de piloot en zijn co-piloot voor elke start en landing een vergelijkbare procedure volgen.

gie. Engelse anesthesisten kwamen in België en Nederland aan artsen leren hoe ze anesthesie moesten toedienen. De narcotiseur van weleer, meestal de jongste assistent of een

verpleegkundige, heeft nu plaats gemaakt voor

Narcose, een beladen woord

een gespecialiseerde arts.

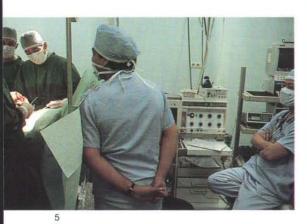
Wanneer iemand een operatie moet ondergaan, gaat dat meestal met narcose gepaard. Niemand gaat alleen voor de narcose naar het ziekenhuis; het is een noodzakelijk kwaad. Gelukkig kan de patiënt gerust zijn. Hij krijgt een op maat gesneden anesthesie voor de ingreep die hij moet ondergaan, afhankelijk van zijn leeftijd en zijn lichamelijke toestand. Vrijwel niemand is ongeschikt om een anesthesie te ondergaan.

In de praktijk is de anesthesist meestal de laatste arts die de patiënt voor zijn operatie aan zijn bed ziet verschijnen. De anesthesist heeft zich dan al op de hoogte gesteld van de Afdeling Amenthemiologie Academiach Ziekenhuis Laiden **CHECKLIST ANESTHESIE** ANESTHESIST 1 (vragen) ANESTHESIST 2 (antwoorden) SET Zet toestellen san (Anesthesietoestel + monitoring apparaten) A. AMESTHESISTOESTEL DEAGER NARCOSE SPIROMAT 650 DRUKOPBOUW OK 1. check drukopbouw CIRKEL 2. check cirkelsysteem (ook het drukalarm!) 3. check en zet expiratie-KIEP OF EN SET klep-stand 4. check pasevacuatie EVACUATIE systeem 5. check rotameter blok ROTAMETER 6. check O2-failure alarm O. ALARM ox 7. check 02 bypass BYPASS OK 8. check voorraad ballon BALLON 9. check en zet PEEP/NEEP PREP/NEEP OK EN SET NUL DRUK OK EN SET 10. check en zet werkdruk 11. check en zet I : E VERHOUDING OK EN SET FREQUENTIE OK EN SET .../MIN 12. check en zet frequentie OK EN SET NUL 13. check en zet trigger TRIGGER 14. check en zet volume VOLUME OK EN SETML (tijdens de lektest capno uitschakelen) 15. lektest automaat TAAMOTUA OK 16. zet PEEP knop op NUL PEEP NUL 17. lektest

toestand van de patiënt en eventueel aanvullend onderzoek laten verrichten. Hij legt uit wat er gaat gebeuren en probeert de patiënt gerust te stellen. Bovendien schrijft hij eventueel een slaapmiddel en zogenaamde premedicatiemiddelen voor. Deze middelen zorgen ervoor dat de patiënt rustig is voor de ingreep en dat de reacties van zijn onwillekeurige zenuwstelsel worden onderdrukt. Het onwillekeurige zenuwstelsel is het zenuwstelsel dat niet aan onze wil gehoorzaamt. Het regelt allerlei basale lichaamsfuncties, zoals de hartslag, de ademhaling en de spijsvertering. Angst wekt er krachtige reacties in op.

Anesthesie

Tijdens de anesthesie worden de reacties van het lichaam op onprettige prikkels uitgeschakeld. Via zenuwen komt informatie vanuit de zintuigen in het centrale zenuwstelsel terecht. Tevens geven zenuwen informatie vanuit het centrale zenuwstelsel naar de spieren door. Als de anesthesist de waarneming van bijvoorbeeld pijnprikkels wil onderdrukken, dan dient hij de informatiestromen via de betrokken zenuwen te onderbreken. We spreken van algehele anesthesie als de patiënt daarbij in slaap wordt gebracht. In andere gevallen hebben we te maken met loco-regionale anesthesie, ofwel plaatselijke verdoving.





6

Alvorens de toediening van anesthesie plaatsvindt, treft de anesthesist een aantal maatregelen om de veiligheid van de patiënt tijdens de operatie zo goed mogelijk te garanderen. Hij stelt allereerst de identiteit van de patiënt vast. Als dat mogelijk is, vraagt hij aan de patiënt welke operatieve ingreep die verwacht en eventueel aan welke lichaamshelft die zal plaatsvinden. Vervolgens is het noodzakelijk om het anesthesietoestel stelselmatig te controleren, vaak aan de hand van een voorgedrukte checklist. Ditzelfde geldt voor de medicamenten die tijdens de ingreep zullen worden toegediend.

Voordat de anesthesist begint met de inleiding van de anesthesie, sluit hij de patiënt aan op de bewakingsapparatuur, de zogenaamde monitoringapparatuur. Het doel van de monitoring is het ontdekken van veranderingen in de toestand van de patiënt die een gevolg zijn van de anesthesie. Maar deze apparatuur registreert natuurlijk ook veranderingen die ontstaan door de chirurgische handeling. Bij alle gebruik van de monitoringapparatuur moeten we ons er steeds goed van bewust zijn dat deze bewakingsapparatuur slechts een hulpmiddel van de anesthesist is; hoe geavanceerd ook, de apparatuur kan de anesthesist nooit vervangen. Een assistent registreert op een zogenaamde anesthesielijst alle handelingen die de anesthesist verricht, zodat het verloop van de gehele narcose vastligt. Ook de patiëntgegevens vermeldt hij daarin, tenzij die door de apparatuur continu worden geregistreerd.



5, 6 en 7. Ondanks geavanceerde anesthesieen monitoringapparatuur (7) zijn vakkennis en ervaring van de anesthesist onmisbaar voor het welslagen van een operatie. Zelfs op een rustig moment (5) is opperate paraatheid geboden. Voor zover de apparatuur dat niet doet, houdt de assistent gedurende de hele operatie een lijst bij van wat er gebeurt en hoe de patiënt het maakt (6).

of -damp krijgt toegediend, of een intraveneuze narcose, waarbij de middelen via een ader (vene) worden ingespoten. Een combinatie van deze methoden is ook mogelijk.

Het chloroform- of etherkapje van weleer heeft plaats gemaakt voor een modern anesthesietoestel. Daarin zitten verdampers van vloeibare anesthetica en nauwkeurige meters voor de toediening van onder andere zuurstof en het nog veel gebruikte lachgas. Het gasmengsel dat de patiënt krijgt toegediend, bestaat uit tenminste 25% zuurstof (in lucht bevindt zich ca. 20% zuurstof) en ongeveer 70% lachgas (N₂O). In dit gasmengsel wordt via de verdampers een vloeibaar narcosemiddel verstoven, bijvoorbeeld halothaan.

De meeste inhalatie-anesthetica zijn koolwaterstoffen. Een van de eerste en populairste daarvan was diëthylether, dat nog steeds bekendstaat als ether. Het is een brandbare en explosieve verbinding. Moderne anesthetica, waaronder halothaan, zijn veelal koolwaterstoffen waarin enkele waterstofatomen zijn vervangen door halogenen. Daardoor zijn ze minder brandbaar. Chloroform, waar koningin Victoria zo over te spreken was, is ook een halogeenhoudend anestheticum (CHCl₂). Deze verbinding blijkt echter zo ongezond, dat die niet meer wordt gebruikt. Lachgas is niet brandbaar, maar werkt evenals zuurstof brandonderhoudend. Het is bij kamertemperatuur en atmosferische druk gasvormig, de overige anesthetica zijn dan vloeibaar.

Algehele anesthesie

Het doel van de algehele anesthesie is de uitschakeling van het bewustzijn en van de reactie van de patiënt op bepaalde prikkels. Bij algehele anesthesie krijgt de patiënt een injectie waardoor hij in slaap valt. Meestal krijgt hij gelijktijdig extra zuurstof toegediend via een kapje. Daarna besluit de anesthesist welk soort middelen hij zal toedienen, afhankelijk van de ingreep die gaat plaatsvinden en de leeftijd en de lichamelijke toestand van de patiënt. In elk geval zorgt hij ervoor dat de patiënt slaapt, niets voelt en geen reacties vertoont op het werk van de chirurg.

De anesthesist kan kiezen tussen een inhalatie-narcose, waarbij de patiënt een narcose-gas



8. Een laken scheidt het werkterrein van anesthesisten en chirurgen. Het hangt er omwille van de steriliteit die de chirurgen in acht nemen.



9. De anesthesist moet ervoor zorgen dat de patiënt zo snel mogelijk na het einde van de operatie de OK kan verlaten. Meestal houdt dat in dat de patiënt dan weer op eigen kracht moet gaan ademen. Ook de verdoving raakt snel uitgewerkt. De anesthesist houdt nauwgezet in de gaten of dat allemaal goed gaat en grijpt waar nodig in.

Door het grote contactoppervlak in de longblaasjes (alveolen) tussen gas en bloed is de uitwisseling van anesthetica zeer effectief. Voor patiënten met normale gezonde longen is de partiële druk van verbindingen in de alveolen en in slagaderlijk bloed vrijwel steeds gelijk. Dit geldt dus niet alleen voor zuurstof, stikstof en koolstofdioxide (de normale bestanddelen van wat we inademen), maar ook voor anesthetica.

Een maat voor de kracht van het anestheticum is de minimum alveolaire concentratie (MAC). Dit is de concentratie van een anestheticum in de longen waarbij de helft van de mensen niet reageert op een pijnlijke stimulus, zoals een snede in de huid. Er bestaat een verband tussen de vetoplosbaarheid van de anesthetica en de MAC-waarden. De vetoplosbaarheid van een verbinding geeft men wel aan met de olie/gasverdelingscoëfficiënt. Naarmate deze hoger is, is de minimum alveolaire concentratie lager. Dit duidt erop dat inhalatie-anesthetica inwerken op de myelineschede of de membranen van de zenuwcellen en daar de impulsgeleiding verstoren.

De MAC-waarden blijken betrekkelijk onafhankelijk te zijn van het geslacht van de patiënt, de duur van de anesthesie en dagelijkse ritmen. Wel nemen de MAC-waarden af bij

10

toenemende leeftijd. Verder zijn ze verlaagd bij lagere temperatuur, zwangerschap en bloeddrukverlaging of zuurstoftekort. Het gebruik van medicijnen die inwerken op het centrale zenuwstelsel heeft ook invloed op de werking van de anesthetica. Chronisch alcoholgebruik verhoogt de MAC.

Nadat de anesthesist de toediening van een inhalatie-anestheticum heeft stopgezet, scheidt de patiënt het middel grotendeels via de longen uit. Anesthetica met een geringe affiniteit voor bloed worden sneller uitgescheiden dan anesthetica die wel goed in bloed oplossen. Tevens is de snelheid van uitscheiding afhan-

kelijk van de luchtverversing in de longblaasjes en het hartslagvolume. De duur van de anesthesie speelt ook een rol. Na een langdurige anesthesie kunnen grote hoeveelheden anestheticum zijn opgestapeld in spier- en vetweefsel. Daardoor kan het lang duren, voordat de verbinding volledig is uitgescheiden.

In het algemeen heeft het lichaam maar weinig mogelijkheden om anesthetica af te breken. De stofwisseling heeft hierdoor weinig invloed op het verloop van de anesthesie en de beginfase van het herstel. Pas in een veel later stadium kan de stofwisseling een rol van betekenis spelen, bij het opruimen van de laatste restjes anestheticum.

Intraveneuze anesthesie

Uiteraard gebruikt de anesthesist geen dampvormig anestheticum bij intraveneuze anesthesie. De patiënt krijgt via een kapje meestal een pomp een programma uitvoeren dat is gebaseerd op leeftijd en gewicht van de patiënt.

Om de spierspanning van de patiënt te verminderen en zodoende het werk van de chirurg te vergemakkelijken, worden zogenaamde spierverslappende middelen gebruikt. De toepassing van spierverslappende middelen vindt zijn oorsprong in Zuid-Amerika. Zuid-Amerikaanse indianen doopten hun speren en pijlen in een giftig plantenaftreksel genaamd ticanas, dat de stof curare bevatte. Het pijlgif zorgde ervoor dat de projectielen dodelijker waren. Abbé Felix Fontana voerde in Leiden in 1745 de eerste experimenten met het extract uit. Het duurde echter tot 1942, voordat het eerste zuivere curarepreparaat bij een operatie in Montreal werd gebruikt.

Met curare en de later chemisch bereidde spierverslappende middelen is het niet mogelijk om spiergroepen selectief uit te schakelen. De spierverslappende middelen verstoren de

> overdracht van de prikkel van de motozenuwvezels rische skeletspier de (neuromusculaire transmissie). Ze blokkeren receptoren in de postsynaptische membraan. Daardoor acetylcholine, kan dat de chemische overdracht van de spierprikkel verzorgt, zijn werking niet uitoefenen. De spier verslapt en er treedt een verlamming op. De patiënt

kan niet meer zelf ademen en moet kunstmatig worden beademd. Er wordt voortdurend gezocht naar middelen met een korte werkingsduur, zodat de anesthesist de narcose goed kan doseren. De hartspier wordt overigens niet geactiveerd door motorische zenuwvezels, zodat de spierverslappers er geen invloed op hebben.

1,0 in longblaasies Lachgas 0,8 0,6 concentratie Halothaan 0,4 0,2 Diëthylether 0 40 Tijd (minuten) 0 20 60 11

10 en 11. Lachgas (NoO) en halothaan behoren tot de meestgebruikte middelen voor inhalatie-anesthesie. Diëthylether vindt ook nog toepassing, maar chloroform niet meer; de stof is te schadelijk. De grafiek toont de snelheid waarmee de concentratie de verschillende anesthetica in de longblaasjes toeneemt. Naarmate de stof beter oplosbaar is in bloed en weefsels is die snelheid lager.

basismengsel van 25% zuurstof in lachgas, helium of lucht toegediend. De longen verdragen geen zuivere zuurstof. Vervolgens dient de anesthesist met een injectie verschillende farmaca toe. Daartoe behoren allereerst een middel om te slapen (hypnoticum), een pijnstillend middel (analgeticum) en een spierverslappend middel.

Door middel van computergestuurde infusiepompen is het mogelijk om nauwkeurig de bloedspiegel van het hypnoticum en het analgeticum te handhaven. De gewenste concentratie van het middel in het bloed is proefondervindelijk vastgesteld. De computer laat de

Wakker worden

Zoals we al zagen, worden alle middelen die de anesthesist gebruikt door het lichaam uitgescheiden dan wel afgebroken. Na verloop van tijd houdt de werking van de middelen op. De patiënt ontwaakt en kan weer bewegen. De vakkennis van de anesthesist moet zover reiken, dat dit niet gebeurt voor de chirurg klaar is, maar liefst wel zo snel mogelijk daarna. De operatiekamer is immers nodig voor de volgende patiënt. Als de afbraak en de uitscheiding niet snel genoeg gaan, kan de anesthesist de werking van sommige middelen tegengaan met zogenaamde antidota, letterlijk tegengif. Het antidotum zelf wordt ook weer afgebroken of uitgescheiden. De werkingsduur van het antidotum is soms korter dan de werkingsduur van het narcosemiddel. Dit kan tot gevolg hebben dat de patiënt weer in slaap valt of slecht gaat ademen. Onder meer om deze reden wordt de patiënt nog enige tijd streng bewaakt op een verkoeverkamer.

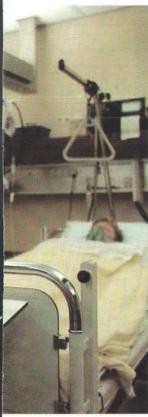
De anesthesist speelt een actieve rol bij de narcose en kan de handelingen niet aan de apparatuur overlaten. Hij moet met de chirurg 'samenspelen'. Immers, het handelen van de chrirug is het ene moment nauwelijks traumatisch (in de zin van 'lichamelijk verwondend'), het andere moment wèl. Daardoor kan de patiënt bijvoorbeeld bloed en vocht verliezen. De anesthesist vult dat bij en stelt de gehele anesthesie regelmatig bij aan het verloop van de operatie.



12

13, 14 en 15. Dankzij plaatselijke verdoving via het ruggemerg, geniet deze vrouw al van haar kind dat zojuist via een keizersnee ter wereld kwam, terwijl chirurgen haar grote buikwond netjes hechten. Naarmate de anesthesie hoger in de rug wordt toegediend, wordt een groter deel van het lichaam verdoofd. Dermatomen (15) zijn de zones op de huid die vanaf een bepaalde wervel gevoelloos worden.



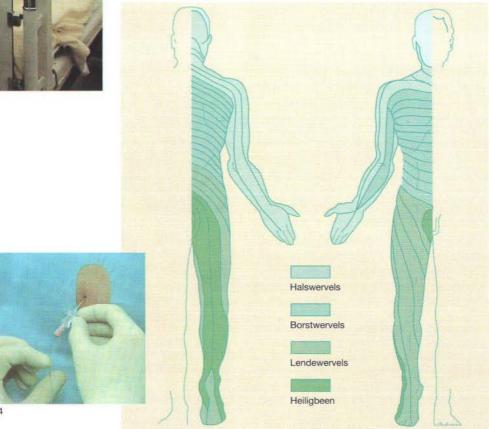


12. Na de operatie komt de patiënt bij in de verkoeverkamer. Hoewel de patiënt zijn lichaamsfuncties nu weer op eigen kracht uitoefent, wordt hij nog enige tijd streng bewaakt. Zijn toestand kan zich immers plots verslechteren.

Plaatselijke verdoving

Als een anesthesist slechts een bepaald deel van het lichaam wil verdoven, dient hij een lokaal anestheticum toe. De impulsonderbreking geschiedt hierbij in principe op omkeerbare wijze, wat wil zeggen dat de zenuwen na afbraak van het anestheticum weer normaal functioneren. Het voordeel voor de patiënt is dat hij wakker blijft en sneller herstelt van de 'narcose'. De plaatselijke verdoving bij de operatieve patiënt kunnen we onderverdelen in perifere blokkades en centrale blokkades.

Bij de plaatselijke verdoving moet men het anestheticum op een toegankelijke plaats in het verloop van de zenuw(en) inspuiten. De tandarts past dit type verdoving bijvoorbeeld toe. Ook als het nodig is om meer dan één zenuw te blokkeren, kan soms met één injectie worden volstaan. Zo kan de hele arm – en een



deel van de borstkas – worden geblokkeerd met een injectie rond de *plexus brachialis*, de armvlecht van de takken van de onderste halsen de bovenste borstkaszenuwen. De patiënt blijft bij bewustzijn, hij voelt niets en het geblokkeerde gedeelte reageert niet op prikkels.

Het is ook mogelijk om plaatselijke verdoving te verkrijging via het centrale zenuwstelsel. Daarbij injecteert de anesthesist het lokale anestheticum in een deel van het centrale zenuwstelsel. Zo kunnen bij een anesthesie in het ruggemerg de zenuwbanen vlak bij het ruggemerg worden geblokkeerd. Afhankelijk van de plaats waar de anesthesist een injectie toedient, kan hij het gevoel in een bepaald deel van het lichaam uitschakelen. Als hij een lokaal anestheticum inspuit rondom het ruggemerg van de patiënt, raken die delen van het lichaam verdoofd die corresponderen met de zenuwwortels die daar met het locale anestheticum in contact komen. Bij een eenmalige injectie spreekt men van een single-shot-techniek. Als de anesthesist na de punctie een catheter achterlaat, is er sprake van een continuous-techniek.

Door middel van het aanbrengen van zo'n catheter in het ruggemerg kan bijvoorbeeld een lokaal anestheticum of een pijnstiller worden toegediend tijdens de baring. Een pijnloze bevalling is op die manier mogelijk. De moeder voelt zich op haar gemak en het kind ondervindt geen schade. Deze vorm van pijnstilling bij de bevalling vindt meer en meer plaats; het chloroformkapje van Victoria heeft plaats gemaakt voor een geavanceerde techniek.

Postoperatieve zorg

Na de operatie gaat de patiënt naar de verkoeverkamer of naar een intensive-care-afdeling. Op de verkoeverkamer worden die patiënten bewaakt die met spontaan ademen een goede gaswisseling hebben, een stabiele bloeddoorstroming hebben en in een onbedreigde situatie verkeren. Van hen mag worden verwacht dat hun toestand in de postoperatieve periode stabiel zal blijven. De bewaking op de verkoeverkamer is nagenoeg dezelfde als op de OK. De anesthesist en de verpleging zorgen ervoor dat de patiënt volledig bij bewustzijn komt. Een van de belangrijkste oorzaken voor een vertraagd terugkeren van het bewustzijn is ge-

legen in de toediening van diverse medicamenten tijdens de chirurgische ingreep.

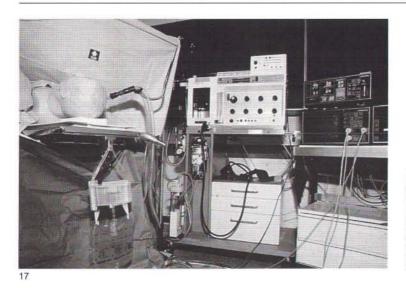
Op de intensive-care-afdeling, of in goed Nederlands een afdeling voor intensieve zorg, komt de patiënt die niet alleen bewaking behoeft maar ook actieve behandeling. Deze behandeling bestaat onder andere uit beademing. De patiënt ademt bijvoorbeeld niet goed vanwege de ingreep die hij heeft ondergaan. De operatiewond kan zo pijnlijk zijn, dat die een goede ademhaling belemmert. Ook kan een adequate pijnbestrijding een onderdrukking van de ademhaling als neveneffect hebben.

Een patiënt die tijdens de operatie massaal bloed kreeg toegediend, kan in een stabiele situatie verkeren. De kans op een gestoorde gaswisseling is dan echter niet denkbeeldig. In zo'n situatie moet de patiënt op de intensive care worden bewaakt en niet op een verkoeverkamer.



16. Met behulp van een draagbare 'pijnpomp' kan pijn gelijkmatig worden bestreden, terwijl de patiënt het dagelijks leven

kan hervatten. Binnen door de arts vastgestelde grenzen kan de patiënt zelf de dosering aanpassen aan de pijn.



17. Leidse anesthesisten hebben niet alleen de checklist, maar ook de simulator ontleend aan de luchtvaart. In het trainingscentrum kunnen anesthesisten oefenen met apparatuur en hun vaardigheid in het beheersen van onverwachte complicaties beproeven.

Pijnbestrijding

De anesthesist zorgt ook na de operatie voor de bestrijding van pijn. Regelmatige medicatie in de postoperatieve fase is hier van belang. Deze medicatie kan via de mond (oraal) of via de huid (subcutaan) worden toegediend. Door pijnstillende medicamenten aan de infusievloeistof toe te voegen kan een stabiele pijnstilling worden verkregen. De bloedspiegel van de pijnstiller is dan vrijwel constant. Een recente ontwikkeling is de ontwikkeling van apparatuur die de patiënt in staat stelt zich zelf (on demand) pijnstillers toe te dienen. Een andere mogelijkheid is dat de patiënt analgetica krijgt toegediend rondom het ruggemerg.

De afgelopen twintig jaar heeft de anesthesist zich een belangrijke plaats toegeëigend bij de pijnbestrijding van patiënten met chronische pijnklachten. Hij ziet daartoe de patiënt in de pijnpolikliniek en kan met analgetica en kalmerende middelen en door middel van zenuwblokkades veel patiënten van de pijn afhelpen of de pijn dragelijk maken. Ook bij de thuiszorg van vooral kankerpatiënten kunnen maatregelen van de 'pijndokter' een opzienbarende verbetering van de toestand van de patiënt betekenen. Ook wordt nu gebruik gemaakt van continue toediening van analgetica, intraveneus of via een catheter rond het ruggemerg, met speciaal daarvoor geconstrueerde apparaten.

Kwaliteit en veiligheid

Anesthesiologen worden iedere vijf jaar als specialist geregistreerd. Om training en hertraining te vervolmaken is in het Academisch Ziekenhuis te Leiden, naar analogie van de luchtvaart, een trainingssimulator voor anesthesiologen ontwikkeld. Deze simulator bootst situaties na die de anesthesist in de dagelijkse praktijk kan tegenkomen. Aankomende en ervaren anesthesisten kunnen hier oefenen op reguliere en nieuw aangeschafte apparatuur. Een reuzesprong voorwaarts.

Literatuur

Spierdijk J en Schurink GA. Inleiding anesthesiologie. Alphen aan den Rijn/Brussel: Samson Stafleu, 1989, ISBN 90-6016-578-0.
 Reinhold H. The creation of modern anesthesia in Belgium.

Acta Anaesthesiologica Belgica 1991; 42: 3, 171-176.
Devulder JER. De pijn te lijf. Natuur & Techniek 1990; 58: 11, 794-805.

Bronvermelding illustraties

Hans van den Bogaard/Hollandse Hoogte, Amsterdam: pag. 288-289, 3, 5, 6, 8, 9 en 12
Astra Pharmaceutica BV, Rijswijk: 1, 2, 13 en 14
Dräger Nederland BV, Zoetermeer: 7
Abbott BV, Amstelveen: 16
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

NIEUWE METALEN

Materialen in straalmotoren, in elektriciteitscentrales en in reactoren in chemische fabrieken moeten aan hoge eisen voldoen. Ze moeten bestand zijn tegen hoge temperaturen en tegen oxydatie en corrosie. Ze mogen niet bros zijn, want dan breken ze snel onder belasting, maar al te taai is ook niet goed. Nieuwe legeringen van twee of meer metalen lijken beter bestand tegen extreme omstandigheden dan materialen die tot nu toe worden gebruikt.

Ian Baker

Thayer School of Engineering Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, VS

DE KRACHT VAN DE ORDE In een oven aan de Technische Universiteit Delft ondergaat een staaf die is gemaakt van een intermetallische verbinding een trekproef. Deze verbindingen blijken met name bij temperaturen boven zo'n 600°C opmerkelijk sterk te zijn. Het onderzoek aan intermetallische verbindingen moet leiden tot een nieuwe generatie van materialen die bij hogere temperaturen sterk en slijtvast zijn.

Stroop is niet het eerste waar je aan denkt als inspiratiebron voor het ontwerpen van straalmotoren voor vliegtuigen. Maar zoals suiker in water oplost en dan een taaie stroop vormt, kunnen metalen in elkaar oplossen. Er ontstaat dan een vaste oplossing. Afhankelijk van de gebruikte metalen, kan er een legering ontstaan die zo taai is als stroop.

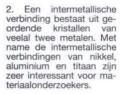
Messing is een bekende vaste oplossing van koper en zink. In messing, net als in veel andere metaal-legeringen, liggen de atomen van koper en zink kriskras door elkaar in het kristalrooster. Er valt in dat rooster geen regelmaat te ontdekken. Er zijn echter ook legeringen waarin de atomen wel regelmatig zijn gerangschikt. Dit zijn de zogenaamde intermetallische legeringen ofwel de intermetallische verbindingen. Deze intermetallische verbindingen hebben momenteel de belangstelling van metallologen en materiaalwetenschappers. Zij hopen bij dit type verbindingen materialen te vinden die zo veerkrachtig en duurzaam zijn, dat ze als constructiemateriaal kunnen dienen voor toepassing onder extreme omstandigheden.

De ontwikkeling van sterke metalen en nieuwe materialen kent een lange geschiedenis. In 1709 zocht de Engelse ijzerfabrikant Abraham Darby reeds naar een manier om de kwaliteit van ijzer te verbeteren. Hij kwam op het idee ijzer samen met cokes te smelten, in plaats van met houtskool. Het resultaat was gietijzer, een voor die tijd nieuw en bijzonder sterk materiaal, dat een omwenteling teweegbracht in de bouw. Een bewijs van de geschiktheid van gietijzer voor grote constructies was de eerste gietijzeren brug bij Coalbrookdale in het Engelse Shropshire.

De ontdekking van gietijzer stimuleerde de speurtocht van metallologen naar nieuwe materialen. Een van de problemen die ze daarbij tegenkwamen, is dat materialen die bij kamertemperatuur sterk en stevig zijn, bij hoge temperaturen heel andere eigenschappen krijgen.

Metalen zijn niet alleen vanwege hun sterkte geschikt als constructiemateriaal. Een andere prettige eigenschap is dat metalen vervormbaar zijn, zonder dat ze breken. Deze koude vervormbaarheid, of taaiheid, zorgt ervoor dat we een metaal of legering soms meer dan tien procent kunnen uitrekken zonder dat het breekt. Een ideaal constructiemateriaal is sterk en vervormbaar.



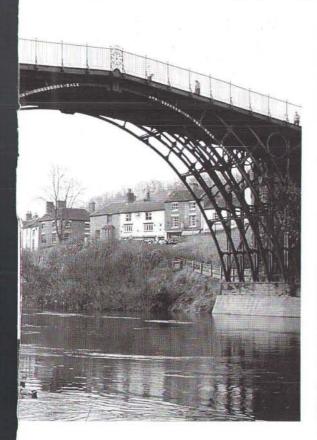




Daarentegen zijn sterke materialen die ook bij grote belasting niet breken, niet altijd taai. Daardoor zijn ze moeilijk verwerkbaar. Bij temperaturen tot 100°C zijn zuivere metalen wel taai en vervormbaar, maar ze zijn dan niet sterk. Legeringen zoals messing zijn minder vervormbaar als de pure metalen, maar ze zijn wel sterker. Intermetallische verbindingen zijn geordende legeringen. Ze zijn bij gematigde temperatuur vaak sterk, maar we kunnen ze dan moeilijk vervormen; ze zijn bros en breken gemakkelijk.

Oude oplossingen

Intermetallische verbindingen zijn niet nieuw. Rond het jaar 660 n.Chr. gebruikten de Chinezen zo'n materiaal van zilver, tin en kwik om rotte kiezen te vullen. Deze geordende legeringen met kwik, zilver en tin (Ag₂Hg₃, Ag₃Sn) in combinatie met kleine hoeveelhe-



van de atomen in het metaalrooster. Intermetallische verbindingen hebben niet altijd betere eigenschappen dan ongeordende legeringen. Zo wordt roestvrij staal bros bij een temperatuur tussen 500°C en 800°C. Er ontstaat bij die temperatuur een intermetallische verbinding van ijzer en chroom, de zogenaamde sigma-fase, die de legering verzwakt.

Intermetallische verbindingen zijn tegenwoordig bekender vanwege andere eigenschappen dan om hun sterkte en taaiheid. De



den tin-kwik en koper-tin (Sn₂Hg, Cu₅Sn₆) worden ook nu nog als vulling gebruikt.

Het duurde tot 1909 voordat de uitgebreide mogelijkheden van legeringen als constructie-materiaal werden ontdekt. De Duitse metalloloog Alfred Wilm maakte een brok aluminium waarin zich deeltjes van koper-aluminium (Al₂Cu) bevonden. Daartoe loste hij koper op in gesmolten aluminium en smeedde het vervolgens bij kamertemperatuur, het zogenaamde koudsmeden. Smeden is niets anders dan het met een hamer vervormen van metaal. Wilm merkte dat het nieuwe materiaal sterker was dan aluminium. Tien jaar later was het intermetallische materiaal Al₂Cu al in gebruik als aluminiumlegering in de vliegtuigbouw, juist vanwege die sterkte.

In 1919 ontdekte de Duitse metalloloog Gustav Tamman dat het onderscheid tussen intermetallische verbindingen en legeringen voortkomt uit een verschillende rangschikking zachte (ferromagnetische) magneet permendur, die uit een ijzer-kobalt-verbinding (FeCo) bestaat, gebruikt men als magneetkern in transformatoren. Samarium-kobaltverbindingen (SmCo₅ en Sm₂Co₁₇) komen als harde magneten voor in elektronische polshorloges. Een goudkleurige palladium-indium-verbinding, PdIn, zou het duurdere goud kunnen vervangen in kronen voor kiezen en tanden. Horlogemakers kunnen de paarse intermetallische verbinding van goud en aluminium (Au₂Al) gebruiken als nieuw materiaal voor de buitenkant van horloges. Rond 1960 veroorzaakte Au₂Al nog veel ergernis in de halfgeleiderindustrie. Daar bevestigde men gouden draden op aluminium strips. Door diffusie ontstond bros Au₂Al. Dit verschijnsel stond bekend als de 'paarse pest'.

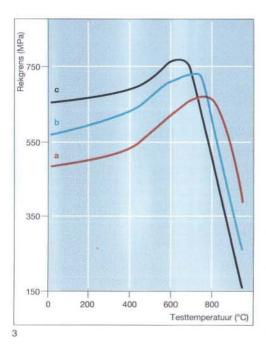
De afgelopen vijftien jaar hebben metallologen zich opnieuw verdiept in de structurele eigenschappen van intermetallische verbindingen. Een stimulans voor dat onderzoek is de behoefte aan materialen die bij zeer hoge temperaturen bruikbaar zijn. De thans gebruikte materialen in straalmotoren verdragen geen temperaturen van ver boven 1400°C zonder dat hun eigenschappen veranderen. Nieuwe materialen moeten niet alleen extreem hoge temperaturen kunnen verdragen, ze moeten ook lichter en sterker zijn en minder vatbaar voor corrosie dan de nu gebruikte materialen.

De eigenschappen van intermetallische verbindingen liggen tussen die van metalen en van keramiek. Intermetallische verbindingen zijn vaak veel sterker en beter bestand tegen corrosie dan metalen, maar ze zijn meestal niet zo licht en niet zo corrosiebestendig als keramisch materiaal. Keramiek is echter uiterst bros. We kunnen dan ook op korte termijn voor intermetallische verbindingen meer toepassingen verwachten dan voor keramiek.

Legeringen

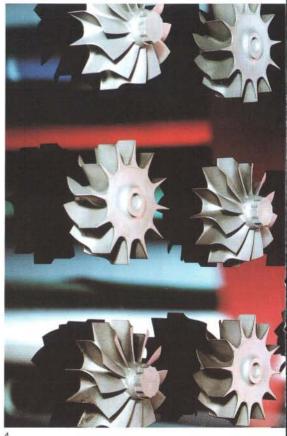
Turbinebladen maakt men tegenwoordig van materialen zoals titaanlegeringen en superlegeringen op basis van nikkel, waarin de metaalkristallen in twee ordeningen voorkomen. De laatste tijd komen intermetallische verbindingen van aluminium met titaan en met nikkel, zoals TiAl en NiAl, en van molybdeen met silicium (MoSi₂) meer in de belangstelling. Ze zouden goede vervangers kunnen zijn voor nikkel- en titaanlegeringen.

Deze intermetallische verbindingen hebben, in tegenstelling tot puur titaan, nikkel of molybdeen, een 'ingebouwde' bescherming tegen corrosie. Een deel van het aluminium of silicium van deze intermetallische verbindingen reageert met zuurstof tot aluminiumoxide en siliciumdioxide en vormt een beschermende laag tegen verdere aantasting.



3. Veel intermetallische verbindingen vertonen een ongewoon verloop van sterkte bij stijgende temperatuur. De rekgrens van chroomhoudend Ni₃Al neemt bij stijgende warmte toe tot een maxi-

mum, waarna bij nog hogere temperatuur de rekgrens snel daalt. De temperatuur waarbij het materiaal is geperst uit voorgelegeerd poeder bedraagt 1330°C (a), 1150°C (b) en 950°C (c).



Het onderzoek naar materialen met de gunstige eigenschappen van legeringen, die ook langdurige blootstelling aan extreme omstandigheden kunnen verdragen, begon na 1950. In 1959 ontdekten onderzoekers van de General Electric Company dat de sterkte (rekgrens) van de nikkel-aluminiumverbinding Ni₂Al verdubbelt als de temperatuur stijgt van kamertemperatuur naar 700°C. Bij nog hogere temperaturen neemt de sterkte weer af. Dit materiaal leek veelbelovend, want het gedroeg zich precies tegenovergesteld aan metalen, waarvan de sterkte immers afneemt bij temperatuurverhoging. Inmiddels zijn er nog meer intermetallische verbindingen bekend die zich als Ni₂Al gedragen, bijvoorbeeld Ni₂Si, TiAl en FeAl (net zoals bij legeringen, komen ook bij intermetallische verbindingen halfmetalen en niet-metalen voor). Het onderzoek ging door in de jaren zestig, maar liep toen dood.



 Deze turbocompressoren zijn gemaakt van de intermetallische verbinding nikkel-aluminium, Ni₃Al. Ze zijn bestand tegen extreme belasting bij hoge temperatuur.

5. Intermetallische verbindingen van nikkel en titaan staan bekend om hun vormgeheugen. Aan Universiteit Twente ontwikkelde Marc Sanders een implanteerbare constructie, die ook na de operatie een wervelkolom blijft rechtzetten. Een chirurg legt de staaf tijdens de operatie langs een kromme wervelkolom en klemt hem vast. Als de staaf de lichaamstemperatuur aanneemt, zal hij de oorspronkelijke stand proberen in te nemen. De staaf blijft geruime tijd na de operatie doorgaan met de standcorrectie.



De problemen leken onoplosbaar. Sommige intermetallische verbindingen worden wel sterker bij temperatuurverhoging, maar ze zijn bij kamertemperatuur veel te bros voor praktische toepassingen. Het keerpunt kwam in 1977, toen men erin slaagde de taaiheid van Ni₂Al te verbeteren. Japanse onderzoekers meldden dat ze Ni₃Al bij kamertemperatuur 35% konden oprekken, zonder dat het brak, nadat ze er kleine hoeveelheden boor (B) aan hadden toegevoegd. In 1982 wist een onderzoeksgroep onder leiding van Chain Liu in het Oak Ridge National Laboratory het materiaal zelfs 50% te rekken, zonder dat er breuk optrad. De groep slaagde daarin door heel zorgvuldig de samenstelling daarvan te regelen. De verhouding nikkel:aluminium was 76:24 en aan deze vaste oplossing werd ongeveer 50 milligram boor per kilogram toegevoegd.

Materiaalwetenschappers hebben zich afgevraagd hoe ze deze resultaten moeten verkla-

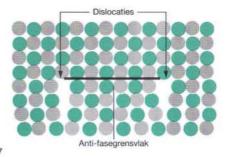
305

ren. Er zijn thans twee gangbare theorieën. De verklaringen zijn gebaseerd op de verschillen tussen de metaalroosters van zuivere metalen, intermetallische verbindingen en ongeordende legeringen.

Als we aan een metaal trekken, gaan de atomen een eindje verder uit elkaar staan. Zodra er niet meer wordt getrokken, veren ze terug naar hun oorspronkelijk plaats. Als er meer trekspanning op het metaal staat, kunnen er twee dingen gebeuren. Is het materiaal bros, dan breekt het; is het materiaal taai, dan wordt het vervormd. Metalen, ongeordende legeringen en intermetallische verbindingen kunnen vervormen omdat er op atomaire schaal onregelmatigheden in voorkomen. Er zijn veel 'roosterfouten' aanwezig; de zogenaamde dislocaties. Als aan het materiaal wordt getrokken, verschuiven de dislocaties en verandert het materiaal van vorm, zonder dat het breekt.

7. Intermetallische verbindingen kunnen van vorm veranderen zonder te breken, maar dan moeten de dislocaties paarsgewijs opschuiven. Tussen twee dislocaties treedt dan breuk op.

8. Het breukgedrag bij kamertemperatuur van met boor gedoopt Ni₃Al hangt af van het Al-gehalte. Dat bedraagt, van links naar rechts, 24,0%, 24,5% en 25%. Links zien we gebroken kristallen, rechts bevindt het breukvlak zich tussen de kristallen.



6. De toevoeging van kleine hoeveelheden chroom aan een Ni₃Al-legering hebben een gunstig effect op de geleiding van het intermetallische materiaal. Het oppervlak van het materiaal toont de fijne structuur van de aaneengegroeide kristallen.

In een metaal of ongeordende legering verschuift een enkele dislocatie gemakkelijk. Het totale patroon van de atomen in het rooster verandert maar weinig. Deze materialen zijn daardoor taai en laten zich koud vervormen. In een intermetallische verbinding gaat dat niet zo eenvoudig. De atomen van de verschillende metalen komen namelijk niet op willekeurige plaatsen in het metaalrooster voor. Er is een

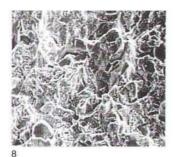
Gemengde metalen

De mengbaarheid of, zoals de metallologen zeggen, oplosbaarheid van een metaal in een ander varieert van bijna verwaarloosbaar klein (lood in aluminium) tot volledig in elkaar oplosbaar (zilver en goud). De meeste combinaties van metalen liggen tussen deze twee uitersten. Aluminium lost bijvoorbeeld tot 21 atoomprocenten (21 van de 100 atomen zijn dan aluminium) op in het nikkelmetaalrooster, bij 1385°C. Omgekeerd lost bij elke willekeurige temperatuur maximaal 0,11 atoomprocent nikkel op in het metaalrooster van aluminium. Een intermetallische verbinding - bijvoorbeeld tussen aluminium en nikkel - ontstaat als de affiniteit tussen de verschillende atoomsoorten groter is dan tussen de atomen van de eigen soort.

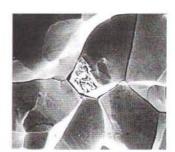
Van aluminium en nikkel komen de volgende intermetallische verbindingen voor: NiAl₃, Ni₂Al₃, NiAl, Ni₅Al₃ en Ni₃Al. In de verbindingen Ni₂Al₃ en NiAl₃ zijn de verhoudingen tussen de atoomsoorten precies 2:3 respectievelijk 1:3. In de andere verbindingen varieert de samenstelling. NiAl kan bijvoorbeeld van 31 tot 58 atoomprocent aluminium bevatten; met andere woorden, in NiAl kan een aanzienlijke hoeveelheid nikkel of aluminium oplossen.

grote regelmaat in de stapeling van de atomen. De verschuiving van één dislocatie kan daardoor een ramp aanrichten, meestal bewegen twee dislocaties tegelijk (afb. 7). Op het breukvlak tussen de dislocaties – het antifasegrensvlak – raken soortgelijke atomen elkaar, terwijl in de rest van het intermetallische ma-

teriaal de atomen om en om voorkomen. Op het grensvlak is de regelmatige ordening verstoord. Intermetallische verbindingen zijn brosser, doordat het moeilijker is twee dislocaties tegelijk te verplaatsen. Het grensvlak met soortgelijke atomen tegenover elkaar wordt dan gemakkelijk een breukvlak.

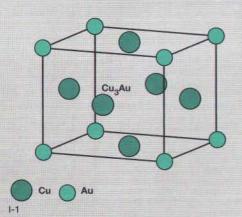






INTERMEZZO

De kristalroosters van intermetallische verbindingen zijn geordend tot bij het smeltpunt. In een enkel materiaal varieert de roosterstructuur en de mate van ordening met de temperatuur. Cu₃Au is bijvoorbeeld niet geordend boven de 390°C. Van de plaatsen in het vlakgecentreerd kubisch rooster is dan driekwart bezet door koperatomen en de rest door goudatomen. Bij een temperatuur lager dan 390°C heeft Cu₃Au een geordend vlakgecentreerd kubisch rooster, met goudatomen op de hoekpunten van de kubus en koperatomen in het middel van elk vlak.



Door verwarming verdwijnt de geordende structuur, bij afkoelen keert de ordening weer. Het is een omkeerbaar proces.

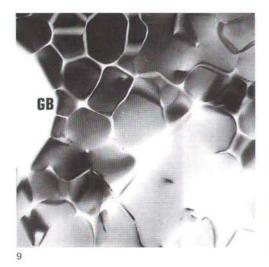
Bij lage temperatuur is de binding tussen koper- en goudatomen sterker dan tussen koper- en koperatomen. Er ontstaat bij afkoelen een intermetallische verbinding. Bij verhoging van de temperatuur gaat het entropie-effect een rol spelen. De toename van de 'wanorde' doet dan de energiewinst teniet en de verbinding gaat over in een ongeordende legering.

Bij afkoeling treedt ordening niet overal en in gelijke mate op. De kristallijne gebiedjes ontstaan analoog aan suikerkristallen in stroop en honing. Als kristallen tegen elkaar komen, passen de kristalvlakjes niet steeds even goed tegen elkaar, Dit grensvlak is het anti-fasegrensvlak.

I-1. Bij temperaturen beneden circa 390 °C nemen de atomen in Cu₂Au deze posities n. Bij hogere temperaturen verandert de structuur van het metaal en is het onvoorspelbaar op welke positie in het rooster de koper- en goudatomen zich bevinden.

Vervormbaarheid verklaard

Als de verklaring voor het ontstaan van een breukvlak juist is, hoe kan dan de toevoeging van boor aan intermetallische verbindingen de koude vervormbaarheid verbeteren? In 1985 bedacht Liu de volgende verklaring. Hij veronderstelde dat de binding tussen de Ni₃Alkristallen niet zo sterk is. De kristalletjes zijn gemakkelijk van elkaar los te trekken, nog voordat de dislocaties gaan schuiven. De toegevoegde booratomen zitten vooral op de grensvlakken van de Ni₃Al-kristallen en verhogen zo de elektronendichtheid tussen metaalatomen in de afzonderlijke kristallen; de binding is dan sterker, de vervormbaarheid neemt toe en de kristallen blijven bijeen.





Met enkele collega's bedacht ik een jaar later een andere verklaring. Volgens ons is de verplaatsing van de dislocaties door Ni₃Al moeilijk omdat de atomen tussen de dislocaties zo keurig zijn geordend. De booratomen verstoren echter die keurige ordening op de grensvlakken tussen de kristallen. De ordening in de grensvlakken neemt af, het rooster wordt ongeordend net als in metalen. Er hoeven door de toevoeging van boor geen twee dislocaties tegelijk meer te bewegen, een dislocatie kan zich nu ook alleen verplaatsen en het materiaal is taai in plaats van bros.

Welke verklaring de juiste is, weet ik niet. Voor beide is iets te zeggen. Wel is duidelijk, dat de verhoogde koude vervormbaarheid van intermetallische verbindingen door de toevoeging van boor de onderzoekers op een spoor heeft gezet. Ze vonden dat ook de vervormbaarheid van intermetallische verbindingen van ijzer-aluminium (FeAl) en nikkel-silicium (Ni₃Si) is toegenomen nadat ze er boor aan toevoegden. Op nikkel-aluminium (NiAl) heeft toevoeging van boor weinig effect.

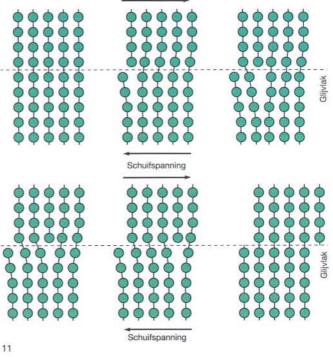
Onlangs heeft men de ijzer-aluminium-verbinding Fe₃Al gemaakt voor toepassing in



buizen en pijpen die verbrandingsgassen afvoeren in energiecentrales die fossiele brandstoffen gebruiken. In dergelijke centrales is corrosie het allergrootste probleem van de technici: het materiaal moet bij hoge temperatuur bestand zijn tegen zuurstof en tegen zwaveloxiden die bij de verbranding van fossiele brandstoffen vrijkomen. Chemisch technologen in de chemische industrie moeten bij het ontwerpen van reactoren soortgelijke problemen oplossen.

Twee groepen onderzoekers pakten eind jaren tachtig deze uitdaging op. De ene op Oak Ridge, de andere in Japan. Ze ontwikkelden onafhankelijk van elkaar de nikkel-siliciumverbinding Ni₃Si. Dit materiaal is niet alleen heel goed bestand tegen corrosie door zuurstof, maar ook tegen aantasting door heet zwavelzuur. Onder deze omstandigheden ontstaat een beschermende laag van siliciumoxiden op het intermetallische materiaal. Materialen als Ni₃Si zouden op den duur duurdere, maar nog veel toegepaste materialen als roestvrij staal en chroom-nikkel-kobaltlegeringen, kunnen vervangen.

- 9. Door de ordening in het metaalrooster van intermetallische verbindingen, kunnen speciale structuren ontstaan. Een transmissie-elektronenmicroscopische opname toont het antifase-grensvlak in een inter-metallische Ni₃Al-verbinding.
- 10. Bij het onderzoek naar de structuur van intermetallische verbindingen en andere nieuwe materialen, speelt de elektronenmicroscoop een belangrijke rol.
- Metalen zijn koud vervormbaar doordat onregelmatigheden in het metaalrooster, de zogenaamde dislocaties, tamelijk vrij door het rooster bewegen.



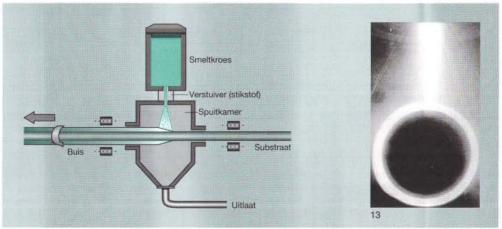
Schuifspanning

Corrosie de baas

Een andere potentiële opvolger van roestvrij staal is ijzer-aluminium, FeAl. Net als Ni₃Si is het goedkoper en veel corrosiebestendiger dan roestvrij staal. Op de buitenkant ontstaat gemakkelijk een beschermende laag van aluminiumoxide (Al₂O₃). Een tegenvaller is dat FeAl in de buitenlucht bros wordt. Dat komt door de waterstof die ontstaat bij de reactie tussen aluminium en waterdamp. De breukvlakjes worden onder invloed van waterstof groter. In Oak Ridge is de groep van Liu op zoek naar elementen die ze kunnen toevoegen om de aantasting van de intermetallische verbinding door waterstof te voorkomen.

Corrosie is niet het enige probleem waar de toepassing van intermetallische verbindingen een oplossing voor biedt. De nikkel-titaanverbinding NiTi wordt bijvoorbeeld door veel onmetallische verbindingen uitzethaak en gaan de ramen open of dicht.

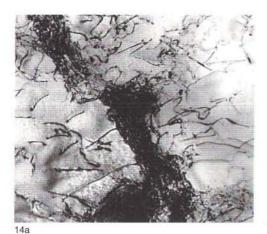
Het aantal mogelijke combinaties van metalen die samen intermetallische verbindingen kunnen vormen, lijkt eindeloos. Maar op korte termijn is wellicht Ni₃Al met kleine hoeveelheden boor en enkele procenten van elementen als chroom, hafnium en zirkoon, het meest belovend. Diverse bedrijven maken al gebruik van dit materiaal, dat bij hoge temperatuur sterk en weinig corrosiegevoelig is. Zo zijn er intermetallische klinknagels voor vliegtuigen, intermetallische branders voor ketels, vormen van intermetallische verbindingen om permanente magneten in te persen en maakt men met intermetallische verbindingen ook rotoren voor turbocompressoren. De bestendigheid tegen fysische slijtage en chemische corrosie maakt deze verbinding geschikt voor toepassing in gas-, water- en stoomturbines.

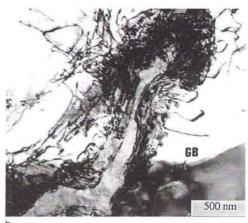


12

derzoekers bestudeerd vanwege het 'vormgeheugen-effect'. Het materiaal heeft de merkwaardige eigenschap te 'onthouden' welke vorm het had bij lage temperatuur. Een vervormd voorwerp van NiTi krijgt bij verwarming z'n 'oude' vorm weer terug. Deze eigenschap past men al toe in sommige automotoren en in hydraulische koppelingen in het F14gevechtsvliegtuig. Ook in kassen vindt dit materiaal toepassing. Afhankelijk van de buitentemperatuur verandert de vorm van een inter-

12 en 13. Bij het Ospreyproces verstuift men een mengsel van metaalpoeder bij hoge temperatuur op een substraat. In dit geval komt het poeder terecht op een buis. De sterkte van een intermetallische verbinding is afhankelijk van de produktietemperatuur. Door het bijmengen van kleine hoeveelheden ander metaal of boor, kan men het gedrag van de verbinding beïnvloeden.





14. Delftse onderzoekers bestuderen het gedrag van Ni₃Al-Cr-intermetallische verbindingen. Bij de

korrelgrenzen kunnen dislocaties zich ophopen. Dergelijke ophopingen hebben een negatieve in-

vloed op de sterkte van het materiaal. Dit voorkomt men door in het materiaal een ongeordende

fase aan te brengen. Daar blijkt de dislocatiedichtheid dan groter te zijn dan aan de korrelgrens (GB).

Onderzoekers in de Verenigde Staten, Japan en Duitsland onderzoeken de toepassingsmogelijkheden van de tamelijk brosse titaan-aluminiumverbinding TiAl in de compressorschijven van de relatief koude luchtinlaat (1000-1600°C) van vliegtuigstraalmotoren. TiAl is sterker, lichter en beter bestand tegen corrosie dan de nu gebruikte titaanlegeringen. Het ziet er echter naar uit dat dit materiaal z'n eerste toepassing dichter bij de aarde zal vinden. In 1990 maakten Japanse onderzoekers met succes van TiAl een rotor voor een turbocompressor.

De corrosieresistente intermetallische verbindingen met aluminium en silicium vinden wellicht hun toepassing als dragermateriaal in composietmaterialen. In het dragermateriaal (de matrix) liggen sterke, maar brosse draden of deeltjes – vaak keramiek als siliciumcarbide of aluminaten – onder hoge spanning. Tot nu toe bestaat het dragermateriaal vaak uit bijvoorbeeld een aluminiumlegering, maar wellicht zijn intermetallische verbindingen beter geschikt voor deze toepassingen. Koolstofvezels met een mantel van siliciumcarbide in een Ti₃Al-matrix, lijkt bijvoorbeeld een goed materiaal voor turbinebladen.

Op het eerste gezicht mogen intermetallische verbindingen dan veel op gewone legeringen lijken, maar hun eigenschappen komen ons veel beter van pas. Als technologen en technici meer van deze nieuwe sterke materialen ontdekken en als ze in grote hoeveelheden beschikbaar komen voor de industrie, kan een aanzienlijke verbetering van de prestaties van auto- en vliegtuigmotoren, van energiecentrales en chemische fabrieken tot de mogelijkheden behoren.

Dit artikel verscheen oorspronkelijk in het tijdschrift New Scientist. Het is voor Natuur & Techniek vertaald door drs Gerard Stout, docent aan de Noordelijke Hogeschool Leeuwarden.

Literatuur

Miedema AR. Legeringen - Gemengde blokken. Natuur & Techniek 1990; 58: 1, 39-49.

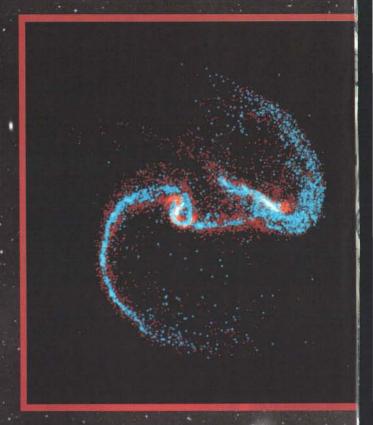
Bronvermelding illustraties

Ton Poortvliet, Dordrecht: pag. 300-301. Britse Ambassade, 's-Gravenhage: 1. Osprey Metals Itd, Neath, GB: 3, 12, 13. Dr Claudette McKamey. Oak Ridse Nati

Dr Claudette McKamey, Oak Ridge National Laboratories, Metals and Ceramics Division: 4, 8. Han ter Beek, Hengelo: 5.

Poedermetallurgiegroep, TU Delft (L.Z. Zhuang, I. Majewska-Glabus, R. Vetter en J. Duszczyk): 6, 9, 14.

Rolls-Royce, Derby, GB: 10. De overige afbeeldingen zijn van de auteur. Ongeveer tachtig miljoen lichtjaar van ons verwijderd bevindt zich in het sterrenbeeld Fornax een cluster van sterrenstelsels. De cluster bestaat uit een groot elliptisch stelsel, vele kleinere en een opvallend spiraalstelsel. Aangezien de meeste sterrenstelsels in dergelijke groepen voorkomen en hun enorme massa's elkaar aantrekken, is het niet verwonderlijk dat de stelsels zo nu en dan met elkaat in botsing komen. De inzetfoto is ontleend aan een computersimulatie van zo'n gebeurtenis.



DE STRUCTUUR VAN STERREN

P.T. de Zeeuw

Sterrewacht Leiden

VORMING, VORM EN VERVORMING

Sterrenstelsels – zwermen van zo'n honderd miljard sterren – komen voor in allerlei maten. Ze zijn onder te verdelen in twee grote hoofdsoorten: opiraalstelsels en elliptische stelsels. In dit artikel komen de verschillen en overeenkomsten tussen de diversetelsels aan de orde, met aandacht voor hun vorm, hun interne bewegingen en hun inhoud aan sterren, gas en donkere materie. Recente waarnemingen laten zien dat gedurende de geschiedenis van het Heelal geregeld sterrenstelsels zijn samengesmolten. Dit proces kan sinds kort worden nagebootst met een computerprogramma. Mede dankzij dit sterrenkundig onderzoek, begrijpen we steeds meer van de vorming van sterrenstelsels.

STELSELS

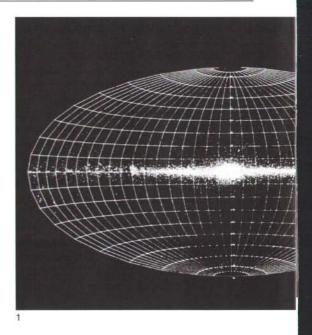
Een van de vele onbeantwoorde vragen uit de sterrenkunde is: hoe zijn sterrenstelsels, met hun miljarden sterren, gevormd? In dit artikel zal ik uiteenzetten hoe ons groeiende inzicht in de structuur van sterrenstelsels ons steeds dichter bij het antwoord op deze fundamentele vraag brengt. De combinatie van waarnemingen, theorie en computersimulaties laat ons zien dat we in een fascinerend Heelal leven, waar wonderlijke processen optreden.

In het verhaal zal ik proberen jargon te vermijden en hoop aldus het lot van Kepler te ontlopen. Die kreeg, zo gaat het verhaal, na zijn uitspraak "De baan van een planeet is een ellips" de vragen voorgelegd: "Wat is een baan?", "Wat is een planeet?" en "Wat is een ellips?". Ik begin met wat geschiedenis.

In de jaren twintig van deze eeuw werd het duidelijk dat onze Zon een doorsnee ster is, die zich bevindt in de buitendelen van de Melkweg, een zwerm van zo'n honderd miljard sterren. Verreweg het grootste deel van die sterren vormt samen een platte schijf met een verdikking in het midden. De Melkweg heeft aldus iets weg van een gigantisch spiegelei, waarin wij ons aan de buitenkant van het wit bevinden. Lindblad en Oort toonden meer dan zestig jaar geleden aan dat de hele Melkweg om zijn as draait. De Zon heeft ongeveer tweehonderd miljoen jaar nodig voor êén omloop om het centrum.

Behalve sterren zijn er aan de hemel ook talloze wazige vlekjes te zien. De meeste hiervan zijn complete sterrenstelsels, net als ons eigen sterrenstelsel, de Melkweg. Doordat ze op geweldig grote afstanden staan, kunnen we de sterren daarin niet afzonderlijk waarnemen en is er alleen een wazige nevel te zien. Alle sterrenstelsels zijn aan de rand minder helder dan in het midden. Ongeveer driekwart van de vlekjes aan de hemel vertoont een spiraalstructuur; we noemen ze spiraalstelsels. Het resterende kwart bestaat uit structuurloze, ellipsvormige vlekjes, de elliptische stelsels.

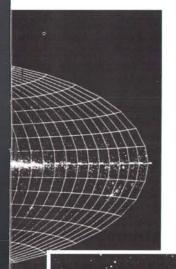
De ruimte tussen de sterren in sterrenstelsels is niet leeg. Vooral spiraalstelsels bevatten vrij veel waterstofgas. Uit de straling die het gas uitzendt, kunnen astronomen al sinds de jaren vijftig bewegingen en afstanden van het gas opmaken. De inwendige bouw van een spiraalstelsel is betrekkelijk simpel: de sterren en het gas draaien rond in een schijf die een spiraalstructuur vertoont. Hoe die structuur in



stand wordt gehouden is overigens nog niet geheel duidelijk. Is de inwendige bouw van elliptische sterrenstelsels ook zo simpel? De geschiedenis van de ontrafeling van de structuur van de Melkweg leert ons dat het niet alleen nodig is om de *morfologie* van het systeem te kennen, met andere woorden hoe het eruit ziet, maar ook de *kinematica*, dat wil zeggen de bewegingen van de sterren en het gas. De *dynamica* tenslotte probeert de waargenomen bewegingen te rijmen met de morfologie. Uit vorm en beweging kunnen we ook de bouw van elliptische sterrenstelsels ophelderen.

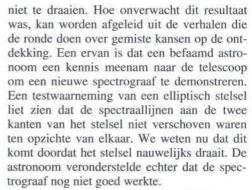
Elliptische sterrenstelsels

De elliptische vlekjes aan de hemel werden lange tijd als uitzonderlijk saai opgevat. Het was een algemeen aanvaarde gedachte dat deze stelsels de vorm van een enigszins afgeplatte voetbal zouden hebben, en dat de mate van afplatting samen moest hangen met de draaiing van het stelsel: hoe platter het stelsel, des te sneller zou het draaien. Dit geloof was zó sterk, en de toenmalige interesse voor spiraalstelsels kennelijk zó groot, dat er niet al te veel moeite werd gedaan om deze rotatie door metingen te bevestigen. En juist voor deze stelsels was veel moeite nodig!



IRAS-satelliet De maakte deze Melkwegopname in het infrarode golflengtegebied. Omdat de Aarde zich in het Melkwegvlak bevindt, zien we een projectie, waarin de spiraalarmen van het stelsel over elkaar vallen.

2 en 3. In vergelijking met een spiraalstelsel, dat afgeplat is en duidelijke spiraalarmen en een verdikking in het midden bevat (2), is een elliptisch sterrenstelsel (3) nogal structuurloos. Het heeft de vorm van een platgedrukte rugbybal.



De ontdekking dat elliptische stelsels nau-



en daarom is het in vrijwel alle gevallen onmogelijk om snelheden te meten met behulp van waterstofstraling. In het begin van de jaren zeventig werd het echter mogelijk om nauwkeurig de gemiddelde bewegingen van de sterren in deze stelsels te meten. Dat kon door te kijken naar verschuivingen van de spectraallijnen in het licht van de stelsels. Het idee is simpel: als een stelsel draait komt één kant naar ons toe en beweegt de andere kant van ons af. Dat betekent dat aan de ene kant van het stelsel de spectraallijnen iets verschoven zijn naar het blauwe deel van het spec-

Elliptische stelsels bevatten heel weinig gas,

Het resultaat van de metingen was verrassend: het merendeel van de elliptische sterrenstelsels blijkt nauwelijks of zelfs in het geheel

trum en aan de andere kant iets naar het rode

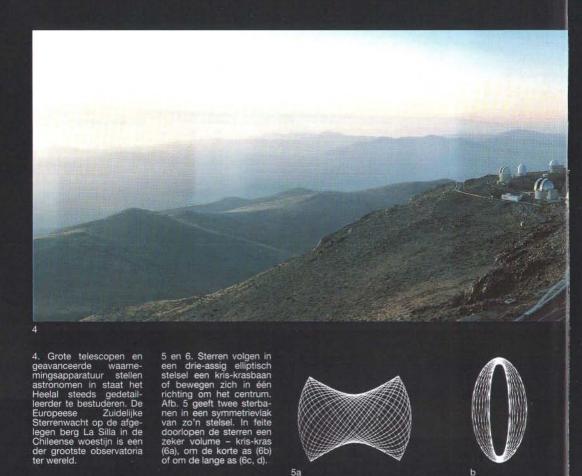
deel. De mate van verschuiving is een maat

voor de snelheid.

welijks draaien, stelde ons voor een nieuw raadsel. Er was nu immers geen reden meer om aan te nemen dat deze stelsels door hun rotatie de vorm van een afgeplatte bal zouden hebben. Gedetailleerde waarnemingen van de lichtverdeling en theoretische overwegingen leidden tot de gedachte dat deze stelsels de vorm van een drie-assige ellipsoïde hebben. Dat is een moeilijke term om een simpele vorm te

beschrijven. Een voetbal is rond en een rugbybal is uitgerekt in één richting. Als we die rugbybal nu verder vervormen door hem in het midden in te drukken, krijgen we een vorm die in drie richtingen verschillende afmetingen heeft: een drie-assige ellipsoide. Een stuk zeep dat al wat langer in gebruik is, ziet er ook zo

Nadat zo de algemene morfologie van de elliptische stelsels was afgeleid, diende zich onmiddellijk de volgende vraag aan: hoe bewegen de sterren nu in zo'n drie-assig stelsel? Het antwoord is inmiddels gevonden aan de hand van berekeningen. Het blijkt dat er een zeer grote variëteit is aan mogelijke sterbanen (afb. 5 en 6), maar dat ze te verdelen zijn in drie hoofdfamilies: een groep die draait om de lange as van het stelsel, een groep die draait om de korte as, en een derde groep die zich kriskras door het hele systeem beweegt. Voor



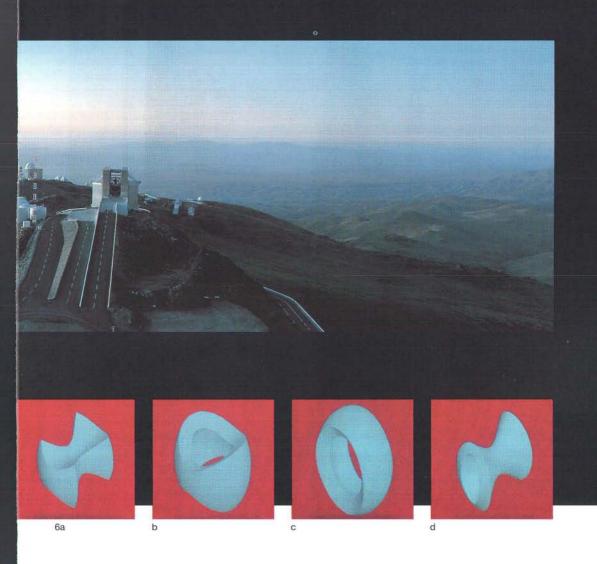
chemici: dit lijkt een beetje op de situatie met de s, p en d orbitalen in een atoom. Voor wisen natuurkundigen: het blijkt dat de meeste sterbanen drie bewegingsintegralen hebben, en dat slechts een heel kleine fractie van de banen chaotisch gedrag vertoont.

De kinematica van elliptische stelsels is dus begrepen, maar hoe zit het nu met de dynamica? Kunnen we deze bewegingen rijmen met de vorm van een stuk zeep? Elke ster in een elliptisch stelsel beweegt onder invloed van de aantrekkingskracht van alle 100 miljard min één andere sterren. De regelmatige vorm van het stelsel doet vermoeden dat het gaat om een evenwichtssituatie. De vraag is dan: bestaat er een combinatie van alle verschillende sterba-



7. Bij straling van 21 cm zien we dat de waterstof in een spiraalstelsel ons

nadert (blauw) of zich van ons verwijdert (rood), doordat het stelsel draait.



nen die de drie-assige vorm van het elliptische stelsel oplevert? En dan nog wel zodanig, dat de verdeling van alle sterren in evenwicht is en dus niet meer met de tijd verandert? Dat het antwoord op deze vraag positief moest zijn, werd gesuggereerd door de waarnemingen en door bepaalde computerberekeningen. Het eerste overtuigende dynamische bewijs voor het bestaan van drie-assige stelsels in evenwicht werd echter pas in 1979 geleverd door de Amerikaanse astronoom Schwarzschild. Hij combineerde de verschillende sterbanen tot een geloofwaardig model van een elliptisch sterrenstelsel.

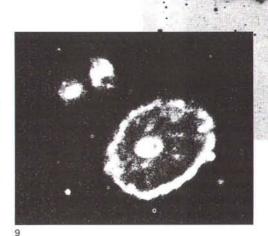
Recenter werk heeft laten zien dat er bij een gegeven drie-assige vorm zelfs zeer veel verschillende mogelijkheden zijn om de sterbanen te combineren. Dit was een onverwacht resultaat en het heeft verregaande gevolgen. Het betekent dat bij een gegeven vorm er nog allerlei mogelijkheden zijn voor de waargenomen snelheidsverdeling, of - anders gezegd dat vele verschillende snelheidsverdelingen tot dezelfde vorm kunnen leiden. Zo kan een stelsel met een bepaalde vorm draaien rond de lange as, rond de korte as of helemaal niet; volledig in overeenstemming met de waarnemingen. Elliptische stelsels geven aldus een heel ander beeld te zien dan de door rotatie afgeplatte stelsels, die steevast om hun korte as draaien. Ze zijn bovendien veel gevarieerder dan de spiraalstelsels. De ironie wil dus dat dynamisch gezien juist de spiralen saai zijn en de elliptische stelsels niet.

Dit verhaal over het drie-assig zijn van elliptische stelsels lijkt misschien wéér zo'n voorbeeld van een geval waarbij de theoretici iets eerst voor onmogelijk hielden en vervolgens even stellig meedeelden dat het eigenlijk heel begrijpelijk is. Die mededeling kwam natuurlijk pas nadat de waarnemers hadden gemeld dat het toch echt zo moest zijn. Er zit een grond van waarheid in deze opinie - en overigens ook een wijze les - maar de kous is hiermee nog niet af. Als de vorm van een elliptisch stelsel volledig de verdeling van de snelheden zou vastleggen, dan zou het meten van de bewegingen van de sterren ons verder maar weinig vertellen over de vorming van sterrenstelsels. Immers, wat het vormingsproces ook zou zijn, het resultaat zou altijd hetzelfde zijn. Nu er veel meer mogelijke snelheidsverdelingen zijn, kunnen we een nieuwe vraag stellen: komen alle mogelijke drie-assige stelsels ook werkelijk voor in het Heelal, of bestaat slechts een deel ervan? Het antwoord op deze vraag zal ons iets moeten vertellen over de vorming van sterrenstelsels. En dat is nu juist een van de allerbelangrijkste onopgeloste problemen uit de sterrenkunde, dat direct heeft te maken met de structuur van het Heelal. Per slot van rekening zijn de sterrenstelsels de bouwstenen van het Heelal.

Numerieke simulaties

Het beschrijven van de bewegingen van sterren in het zwaartekrachtsveld van hun miljarden buren is in sommige gevallen te doen met analytische methoden, maar in het algemeen zijn de bewegingsvergelijkingen van Newton in zo'n gecompliceerde omgeving onoplosbaar. Grote vooruitgang is echter mogelijk door het gebruik van moderne computers. Hierbij neemt men 'slechts' zo'n honderdduizend deeltjes en berekent op een gegeven moment voor elk deeltje afzonderlijk hoe groot de krachten zijn die er op werken. Vervolgens geeft men ze dan allemaal een klein duwtje, evenredig met de uitgerekende kracht, berekent de nieuwe posities en herhaalt het proces. Dit nabootsen, ofwel simuleren, van de werkelijkheid is dus niets anders dan een methode om ons met brute rekenkracht inzicht te verschaffen in het gedrag van het systeem.

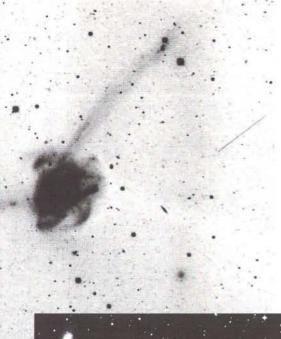
8, 9 en 10. 'Close encounters' en 'kosmisch kannibalisme' zijn in het Heelal aan de orde van de dag. De slierten van het stelsel NGC 7252 (8) verraden het opslokken van grote hoeveelheden materie. Het Karrewiel was een groot spiraalstelsel, dat werd vervormd door de schokgolf van een botsing met het kleinste van de twee stelsels linksboven. NGC 2442 (10) wordt vermoedeliik uit model getrokken door het kleine stelsel linksboven, dat hem begeleidt.



Zo'n simulatie is lang niet voldoende om de beweging van elke individuele ster in een stelsel te volgen, maar wel genoeg om globale effecten te zien. Numerieke simulaties hebben de laatste jaren een fundamentele bijdrage geleverd op allerlei gebieden die te maken hebben met de structuur en vorming van sterrenstelsels. Ik noem er twee.

Ten eerste zijn simulaties gebruikt om te laten zien dat een verdeling van sterren die oorspronkelijk niet in evenwicht is, in het algemeen evolueert naar een evenwicht. Doorgaans ontstaat een stelsel waarin de verdeling sterk naar het centrum is geconcentreerd en dat een drie-assige vorm heeft. Na de eerdere uiteenzetting zal dit geen verrassing zijn.

Ten tweede hebben simulaties laten zien dat er fascinerende dingen gebeuren als twee sterrenstelsels elkaar ontmoeten. Dit is een proces



de simulatie van zo'n ontmoeting komt overeen met een vervormd of verstrengeld sterrenstelsel ergens aan de hemel. Wat nu zo interessant is, is dat als twee spiraalstelsels op deze manier versmelten, het resultaat in het algemeen een heel speciale wirwar oplevert die sterk naar het centrum geconcentreerd is en als twee druppels water lijkt op een elliptisch stelsel. Zou elk elliptisch stelsel het gevolg zijn van kosmisch kannibalisme? Alvorens hier nader op in te gaan, wil ik eerst iets vertellen over donkere materie.

Donkere materie

Sterrenstelsels komen vaak voor in groepen, ook wel *clusters* genaamd, die soms wel honderden leden hebben. De massa van de stelsels in een cluster schat men op basis van hun

> lichtkracht. De astronoom Zwicky ontdekte echter in de jaren dertig dat de snelheden van individuele sterrenstelsels in grote clusters vaak veel hoger zijn dan men verwacht op grond van de zwaartekracht geleverd door de zo geschatte massa. Zijn conclusie was dat clusters kenneliik donkere bevatten: materie materiaal dat geen licht uitzendt en zijn aanwezigheid alleen verraadt door zijn zwaartekracht. Die

extra zwaartekracht is verantwoordelijk voor de hoge snelheden.

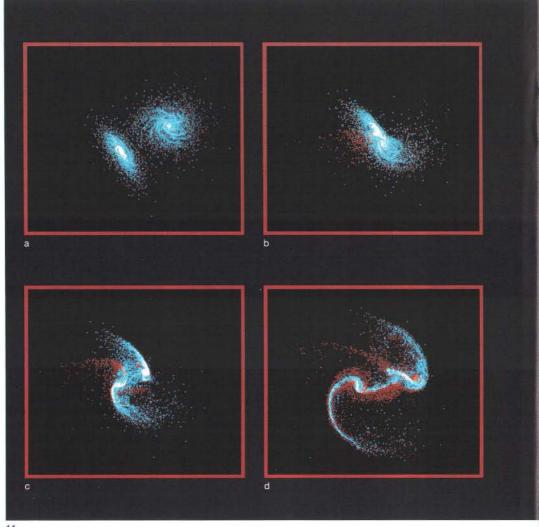
In de laatste twintig jaar is het duidelijk geworden dat ook individuele sterrenstelsels donkere materie hebben. Met de ingebruikname van de Westerbork Synthese Radio Telescoop werd het mogelijk gedetailleerde kaarten te maken van de verdeling en snelheden van het waterstofgas van nabije spiraalstelsels. Uit het werk van de Groningse sterrenkundigen Van Albada en Sancisi bleek, dat de snelheden in de buitendelen van de spiraalstelsels aanzienlijk groter zijn dan zou volgen uit de



10

dat veel vaker optreedt dan wel eens is gedacht. Sterrenstelsels hebben geregeld 'close encounters of the intergalactic kind'. In zo'n geval vervormt de onderlinge zwaartekracht beide stelsels. Vaak leiden dergelijke ontmoetingen zelfs tot een soort kosmische omhelzing van de stelsels, die meestal wordt gevolgd door een volledige samensmelting. Het proces wordt ook wel eens beschreven met de term kosmisch kannibalisme.

Dankzij numeriek simulatieonderzoek lijdt het geen twijfel dat kosmische omhelzingen zich geregeld voordoen: bijna elk stadium in



11

zwaartekracht tengevolge van de lichtgevende materie in deze stelsels. Dit lijkt dus erg op de situatie in clusters. De meest gebruikelijke verklaring is dat ook individuele spiraalstelsels donkere materie bevatten, waarschijnlijk in een nagenoeg bolvormige halo die wel meer dan viermaal zo zwaar kan zijn als het lichtgevende deel van het stelsel. Een andere 'verklaring' is dat er helemaal geen extra materie is, maar dat Newtons wet van de zwaartekracht niet helemaal correct is. Dit is een vrij gedurfde uitspraak. De onder astronomen (nog steeds) algemeen aanvaarde opinie is dan

ook dat het veiliger is om donkere materie tepostuleren, zoals Zwicky al deed, dan om Newtons wet in twijfel te trekken.

Hebben elliptische sterrenstelsels ook donkere halo's? Het voor de hand liggende antwoord is ja, maar omdat deze stelsels nauwelijks gas hebben, is het niet zo makkelijk om snelheden op grote afstand van het centrum te meten. Recente metingen aan de paar stelsels met voldoende gas geven tot nu toe geen erg overtuigend bewijs voor de aanwezigheid van donkere materie. Er zijn echter andere aanwijzingen dat sommige elliptische stelsels wel

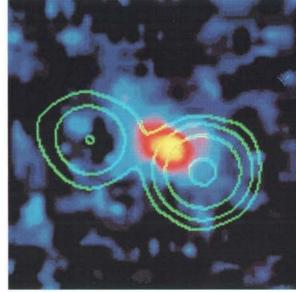
11. Een computersimulatie toont hoe twee spiraalstelsels met elkaar in botsing komen. Het bovenste stelsels met elkaar in botsing komen. Het bovenste stelsel beweegt van boven naar beneden, het on-derste van beneden naar boven. Wanneer ze elkaar 'raken' kronkelen de stelsels zich om elkaar heen. Een deel van de materie wordt daarbij de ruimte in geslingerd. Uiteindelijk blijft er één stelsel over.

Vorming

Na deze uitweiding over donkere materie, nu weer terug naar de vraag: hoe zijn sterrenstelsels gevormd? Om dit probleem aan te pakken, kunnen we globaal twee benaderingen onderscheiden. De eerste zegt: begin bij de geboorte van het Heelal, de zogenaamde Oerknal, en ga na hoe er structuur ontstaat tengevolge van kleine dichtheidsverstoringen. Bereken hoe deze volgens de wetten van de natuurkunde evolueren en onderzoek dan hoe dit sterrenstelsels oplevert. De tweede benadering begint juist aan de andere kant: probeer eerst te begrijpen hoe de sterrenstelsels in onze omgeving in elkaar zitten en ga dan na hoe ze er in het verleden hebben uitgezien. Een eenvoudig voorbeeld kan het verschil verduidelijken. Om na te gaan hoe de mens is ontstaan, kunnen we proberen uit te zoeken hoe de eerste eencellige organismen zijn gevormd en hoedie langzaam maar zeker zijn geëvolueerd tot meer en meer gecompliceerde levensvormen. Anderzijds kan ook de studie van steeds oudere fossielen ons iets leren over de evolutie.

degelijk zware halo's hebben. Onderzoek op dit terrein is in volle gang.

Het is niet duidelijk waaruit de donkere materie in sterrenstelsels bestaat. Misschien is het 'gewoon' materiaal, zoals heel lichtzwakke sterren, grote planeten, of rondvliegende stenen. Het kan ook zijn dat het gaat om exotische elementaire deeltjes. Hoe het ook zij, de studies van de bewegingen in sterrenstelsels hebben in ieder geval iets heel interessants opgeleverd: het lijkt er op dat we tot voor kort het merendeel van de massa in het Heelal letterlijk over het hoofd hebben gezien!

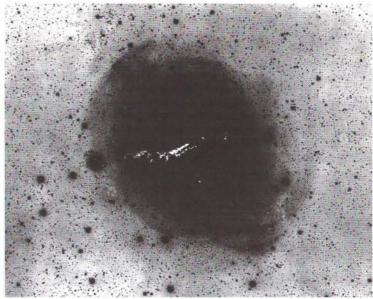


12

12. Deze dubbelopname van een zeer ververwijderd sterrenstelsel combineert het beeld in zichtbaar licht (weergegeven in valse kleuren) met de contouren van intensiteit van radio-emissie.

13. Pas na langdurige belichting en verbetering van het contrast werd de grote halo van materiaal rond het elliptische stelsel Centaurus A zichtbaar. De structuur van de halo duidt erop dat het stelsel veel materiaal heeft ingevangen. Om het stelsel beyindt zich een structuur van stof die het licht van de achterliggende sterren tegenhoudt. Op deze negatieve opname zien we die als een witte band.

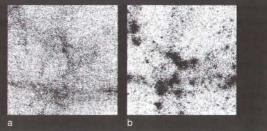




15

Terug naar de sterrenstelsels. De verwachting is dat geen van beide methoden afzonderlijk het hele vormingsprobleem zal oplossen, maar dat een combinatie, een aanval op twee fronten, de meeste kans van slagen zal hebben. Laten we eerst eens kijken naar de studie van de geschiedenis van sterrenstelsels. Dit is in principe heel eenvoudig, omdat we slechts hoeven te kijken naar stelsels op steeds grotere afstand. Omdat de lichtsnelheid eindig is heeft het licht van die stelsels er dus steeds meer tijd voor nodig gehad om ons te bereiken, zodat we de stelsels in een eerder stadium van hun evolutie zien. Het licht van de verste stelsels is heel zwak, zodat we grote telescopen en goede detectoren nodig hebben.

Een studie van het verleden van spiraalstelsels geeft voornamelijk inzicht in de rol van gas. Het is duidelijk dat in een vroeg stadium het gas in deze stelsels is ineengestort tot een schijf. In de schijf zijn voortdurend sterren gevormd, tot op de dag van vandaag. Simulaties laten zien dat schijven dynamisch erg fragiel zijn, wat wil zeggen dat zij gemakkelijk vervormen. In het nabije verleden kan er dan ook niet veel materiaal in grote hoeveelheden tegelijk in de schijf zijn gevallen. Gestage inval van kleine beetjes gas heeft echter zeker de levensloop van deze stelsels beïnvloed.

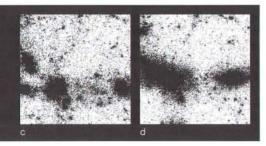


14

Elliptische stelsels vertonen vaak sporen van een meer opwindende levensloop. Op langbelichte foto's zijn vaak onregelmatige slierten materie te zien in de buitendelen van deze stelsels, die duiden op 'recente' inval van materie. Meer bewijs hiervoor volgt uit de ontdekking van Franx in Leiden (in 1988) dat de kernen en buitendelen van sommige elliptische stelsels soms in tegenovergestelde richting draaien. Simulaties hebben laten zien dat dit 'kosmisch spookrijden' op natuurlijke wijze tot stand komt als een klein stelsel geheel door een groter stelsel wordt opgeslokt.

Computersimulaties tonen aan dat misschien zelfs hele elliptische stelsels gevormd zijn uit versmelting van spiraalstelsels. Ik merk hierbij op dat het gas uit de spiralen door de sterke getijdenwerking tijdens de ontmoeting snel zijn weg vindt naar het centrum van het eindprodukt. Dit resulteert waarschijnlijk in een geboortegolf van nieuwe sterren en misschien ook in de vorming van een centraal zwart gat. In simulaties blijkt alleen het botsingsprodukt van twee spiraalstelsels mèt een halo van donkere materie overeen te komen met elliptische stelsels aan de hemelboog. Zonder die zware halo's draait het eindprodukt te snel.

De theorie van de sterevolutie vertelt ons dat de sterren in de meeste elliptische stelsels heel oud zijn. Deze stelsels moeten dus lang geleden zijn gevormd. Omdat het Heelal uitdijt, bevonden sterrenstelsels zich vroeger dichter bij elkaar, zodat de kans op ontmoetingen en wat daarmee samenhangt, groter was. Om dezelfde reden is het waarschijnlijk ook geen toeval dat juist in de grote clusters, waar



veel stelsels zich vlakbij elkaar bevinden, de meeste elliptische stelsels voorkomen.

Het is niet gezegd dat het zojuist beschreven proces van versmelting de enige manier is waarop elliptische stelsels in het Heclal zijn gevormd. Er zijn ook andere mogelijkheden en er is onder astronomen een levendig debat hierover gaande. Gelukkig zijn de waarnemingen nu goed genoeg om verschillende scenario's te testen. Zo zijn bijvoorbeeld simulaties gebruikt om te zien hoe in het vroege Heelal de eerste structuur kon ontstaan. De onderliggende gedachte daarbij is dat eerst de dominante component van het Heelal, de donkere materie, klontert en dat het gas zich in die verdichtingen verzamelt en er sterren vormt. De

berekeningen laten zien dat de donkere halo's inderdaad drie-assige structuren vormen, maar een gedetailleerde vergelijking met waarnemingen toont aan dat de modellen teveel afgeplat zijn. Er moet dus nog aan deze theorie worden gesleuteld.

Sterrenstelsels in het Heelal leiden een heel enerverend leven, waar we nu eindelijk ook kwantitatieve informatie over kunnen krijgen. Omdat juist de elliptische stelsels zo overduidelijk de fossielen zijn van het vormingsproces van sterenstelsels, zijn dit de objecten die we moeten bestuderen om dat proces te begrijpen. De Leidse onderzoeksgroep van Miley onderzoekt de verstverwijderde sterrenstelsels, die in dit opzicht een boeiend onderzoeksobject zijn.

Voor vrijwel alle problemen in de sterrenkunde geldt dat er een gezond evenwicht nodig is tussen theorie en waarnemingen. Daar is de laatste jaren nog een derde component bijgekomen, namelijk die van de numerieke simulaties. Het geschetste probleem van de vorming van sterrenstelsels is een ideaal voorbeeld van een gebied waar zo'n veelzijdige aanpak onontbeerlijk is. We zullen er naar verwachting in de komende jaren veel vruchten van plukken, maar zullen tegelijkertijd weer op nieuwe vragen stuiten.

Dit artikel is een bewerking van de voordracht Structuur van melkwegstelsels, uitgesproken op 27 januari 1992 te 's-Gravenhage voor de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde "Diligentia".

Bronvermelding illustraties

Royal Observatory, Edinburgh, UK: pag. 312-313 (achtergrond), 2, 9 en 10

Lars Hernquist/Lick Observatory, University of California, Santa Cruz: pag. 312-313 (inzet) en 11

H.J. Habing/Sterrewacht Leiden: 1

H. Zodet/ESO, Garching bei München, D: 4

François Schweizer/Carnegie Institution of Washington, Dept. Terrestrial Magnetism, Washington DC: 8

R. van Ojik/Sterrewacht Leiden: 12 John Graham en David Malin: 13

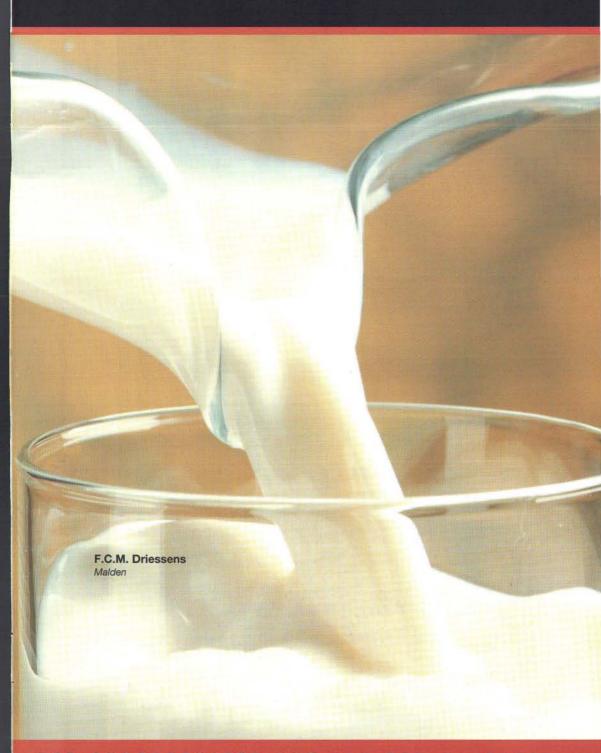
E. van Kampen/Sterrewacht Leiden: 14

De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

De mineralen in onze lichaamsvloeistoffen zorgen voor een intern
milieu waarin de levende cellen,
de organen en de orgaansystemen optimaal functioneren. In dit
artikel gaan we onder meer na hoe
magnesium de huishouding van
calcium en fosfaat beïnvloedt.
Recent verworven kennis stelt ons
in staat om op eenvoudige wijze
aandoeningen zoals osteoporose,
aderverkalking en gewrichtsverkalking te voorkomen.

In voeding zitten tal van stoffen die nodig zijn voor de opbouw van het lichaam. Een liter volle melk bevat enkele grammen mineralen, zoals calcium en magnesium. Als de mineraalhuishouding in het lichaam is verstoord, kan botweefsel ontkalken. De Duitse onderzoekers Bonse en Delling maakten met synchrotronstraling (uit de opslagring DORIS bij de deeltjesversneller in Hamburg) een tomogram van ontkalkt botweefsel, waaruit de open structuur van het ontkalkte materiaal blijkt.





HET ONDERSCHATTE NUT VAN EEN MINERAAL

Ieder levend wezen staat voortdurend in contact met een veranderlijke buitenwereld. Bij eencelligen zien we dat een membraan het inwendige milieu van de buitenwereld scheidt en het zo constant mogelijk houdt. Zo zijn de enzymen in de cel verzekerd van een omgeving waarin ze naar behoren kunnen functioneren. Meercelligen hebben niet alleen een inwendig milieu binnenin de cellen, maar ook een inwendig milieu rondom de cellen, de *extracellulaire vloeistof*. In grotere organismen zorgt bovendien een circulatiesysteem voor de uitwisseling van allerlei verbindingen met de buitenwereld en de interne verplaatsing van verbindingen.

Er zijn nogal wat verschillen tussen de concentraties van anorganische stoffen in respectievelijk menselijk bloedplasma, extracellulaire vloeistof en intracellulaire vloeistof. Opvallend is dat onze levende cellen zoveel fosfaat, magnesium en kalium bevatten. In dit artikel zullen we bekijken hoe belangrijk het magnesiumgehalte in onze levende cellen is en welke cruciale rol het speelt bij de huishouding van calcium en fosfaat. Vooral op latere leeftijd zien we door verstoring van die huishouding allerlei ziekten optreden zoals osteoporose en ader- en gewrichtsverkalking.

1. Het botweefsel is geen star materiaal, het wordt continu aangemaakt en afgebroken. In deze EMopname zijn meerdere kernen van de osteoclast herkenbaar. Actieve osteoclasten produceren zuur en eiwitsplitsende enzymen op de plaats waar ze aan het bot zijn gehecht (*). Daardoor lossen de mineralen wordt de collageenmatrix afgebroken.

Activiteit en fosfaat

Uit de beschouwingen van niet-evenwichtstoestanden heeft men afgeleid dat levende wezens als kenmerk moeten hebben dat ze hun niet-evenwichtstoestand (hun leven) slechts kunnen handhaven door voortdurend chemische energie om te zetten in warmte en arbeid. Fosfaat is de voornaamste anorganische stof die deze energie-omzetting in de cellen gaande houdt. Men kan dus tot op zekere hoogte zeggen dat de activiteit van een cel (onder

Ionen	Extracellulaire vloeistof	Bloedplasma	Intracellulaire vloeistof
Na ⁺	140,0	140,0	10,0
K+	5,0	4,0	140,0
Mg ²⁺	1,5	2,0	20,0
Ca ²⁺	1,4	2,5	0,05
CI-	103,0	105,0	4,0
SO ₂	0,5	1,0	4,0
PO ₄ 3-	0,9	1,0	37,5
CO ₃ 2-	27,0	27,0	10,0



voorwaarde van voldoende toevoer van voedingsstoffen en zuurstof) voor een groot deel afhangt van de mate waarin de cel er in slaagt om voldoende fosfaat te verzamelen. Gewervelde dieren leggen in hun botten een grote voorraad fosfaat aan, waaruit zij in slechte tijden kunnen putten.

De gewervelde dieren hebben een inwendig skelet dat voor een groot deel bestaat uit botmineraal, een mengsel van verschillende calciumfosfaten. Dit skelet maakt samen met het spierstelsel de grote beweeglijkheid van de gewervelden mogelijk. Daarnaast functioneert het skelet als een grote voorraad fosfaat. Voor de ontwikkeling van een dergelijk inwendig skelet was het ontstaan van een ingewikkeld systeem van calciumhuishouding noodzakelijk. Daarvoor is het belangrijk dat het lichaam via de darmwand voldoende calcium uit het voedsel kan opnemen. Dat kan alleen als met dat voedsel ook voldoende vitamine D in het lichaam komt of als de huidcellen, onder in-

vloed van de ultraviolette straling in het zonlicht, voldoende vitamine D produceren.

Voor een goed evenwicht tussen calciumopname en -afgifte (de calciumbalans) is het natuurlijk ook belangrijk dat de nieren niet meer calcium uitscheiden dan de darmen opnemen. Een juiste onderlinge verhouding van de hormonen calcitonine en oestrogeen en parathyreoïdhormoon is daartoe noodzakelijk. Calcitonine en oestrogeen remmen namelijk de zuurvorming door de levende cellen in het botweefsel en bevorderen daarmee dat calcium in het bot wordt vastgehouden. Parathyreoïdhormoon daarentegen stimuleert de zuurvorming door de cellen en bevordert daarmee dat het bot calcium afgeeft aan de lichaamsvloeistoffen. Bij een stijgende calciumconcentratie in het bloedplasma, gaan de nieren ook meer calcium uitscheiden. Dat betekent dus dat een verstoorde hormoonbalans leidt tot een verstoorde calciumbalans.

Belang van intracellulair magnesium

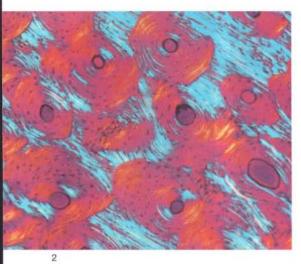
De levende cellen in ons lichaam kunnen via biochemische processen natrium-ionen uitscheiden en kalium-ionen binnenhalen, tegen de heersende concentratiegradiënten in. Dit actieve transport wordt bewerkstelligd door een groep enzymen die samen een zogenaamde Na+/K+-pomp vormen. In rusttoestand heerst er een potentiaalverschil van ongeveer 60 mV tussen het milieu buiten en binnen de cel. De celmembraan is dus gepolariseerd. Door prikkeling van de celwand (bijvoorbeeld door naburige cellen) kan er plaatselijk op de membraan een depolarisatie optreden, waarbij natrium- en chloride-ionen de cel binnenstromen. De Na+/K+-pomp zorgt er vervolgens voor, dat de rusttoestand wordt hersteld, door de natrium-ionen naar buiten te 'pompen'.

Voor het opladen van onze levende cellen met kalium-ionen en het tegelijkertijd uitscheiden van natriumionen, heeft de Na+/K+pomp veel energie nodig. De pomp is dan ook gekoppeld aan een enzym, adenosine-trifosfatase of ATP-ase, dat een fosfaatgroep afsplitst van de verbinding adenosine-trifosfaat (ATP). Daarbij komt energie vrij. Voor elk gesplitst ATP-molekuul sluist de pomp drie natriumionen naar buiten en twee kaliumionen naar binnen. Om te kunnen werken, hebben ATP-asen voldoende intracellulair magnesium nodig.

Bij lage vergroting is de structuur van compact bot duidelijk. De ringen

 Door de mineralisatie is botweefsel een hard materiaal. Om het te kunnen bestuderen zonder demineralisatie, bedt men bot in plastic in, waarna er met een zware microtoom zijn de kanalen van Havers, waarbinnen bloedvaten en zenuwen lopen.

een dunne coupe (ca. 4 µm) van kan worden gesneden. Na kleuring van een coupe kan de vorm, het aantal en de lengte van diverse botstructuren worden bepaald.





Als er een tekort aan magnesium is, zal het ATP-ase niet de benodigde energie kunnen leveren voor het ionentransport door de Na⁺/K⁺pomp. Als die pomp niet goed werkt, is dat meestal het beste te merken aan acute storingen in zenuw- en spiercellen. Daarom wordt het belang van magnesium primair in verband gebracht met spierwerkingen (arbeid, sport, hartfunctie) en met het functioneren der hersenen. Het is tekenend voor de magnesiumafhankelijkheid van de kaliumvoorziening, dat bij een normale, gevarieerde voeding het op peil blijven van de intracellulaire kalium-concentratie geen probleem is, zolang de magnesiumconcentratie in de cel hoog genoeg is.

Nu activeert magnesium meer dan driehonderd enzymen in ons lichaam. Intracellulair magnesium is ook van wezenlijk belang voor andere processen dan de werking van hersenen en spieren. Laten we daartoe eens kijken naar de magnesiumvoorraad in het bot en de stabiliteit van dat weefsel.

Botoplossing

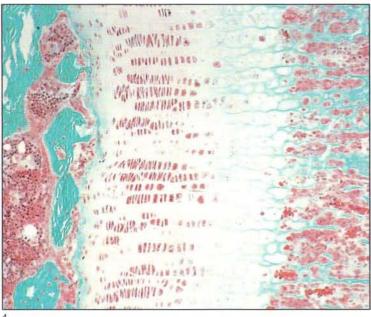
De eerste kristalletjes die ontstaan bij de botvorming, bestaan uit octocalciumfosfaat. Deze verbinding is in contact met de lichaamsvloeistoffen echter niet stabiel en gaat spontaan over in een mengsel van drie andere, minder goed oplosbare calciumfosfaten. Binnen ongeveer een maand is de helft van het octocalciumfosfaat omgezet in deze drie calciumfosfaten. Men zou verwachten dat het botmineraal bij volwassen gewervelden alleen nog de drie minder oplosbare calciumfosfaten bevat. Het bot wordt echter in het levende dier alsmaar omgebouwd. Voor de afbraak van oud botweefsel zorgen de osteoclasten, een type macrofaag met meerdere kernen. Daarna bouwen andere cellen, de osteoblasten, nieuw bot op. Eerst scheiden ze onder meer het eiwit collageen af en dan verlagen ze plaatselijk de hoeveelheid zuur door ammoniak van het aminozuur glutamine te splitsen. Omdat octocalciumfosfaat afgeleid is van het zwakke zuur fosforzuur, daalt de oplosbaarheid ervan met stijgende pH. Door de verhoging van de pH wordt de oplosbaarheid van het octocalciumfosfaat dus plaatselijk overschreden, met als gevolg dat deze stof uitkristalliseert. Als gevolg van deze botombouw is er daardoor altijd wat octocalciumfosfaat in het mineraal van levend botweefsel aanwezig. Bij de volwassen mens maakt dit calciumzout echter niet meer dan twee procent van het totale botmineraal uit.

Zoals boven omschreven, is octocalciumfosfaat het meest oplosbare calciumfosfaat in het botmineraal. De concentratie van calcium en fosfaat die in de vloeistof tussen de botcellen heerst, is daardoor bepaald door de oplosbaarheid van het octocalciumfosfaat. Met andere woorden, de extracellulaire vloeistof in het bot is steeds in chemisch evenwicht met octocalciumfosfaat. Door invloeden van buiten het bot kan dit evenwicht gedurende korte tijd verstoord raken, bijvoorbeeld door hyperventilatie, sportbeoefening of door sterk zure of alkalische voeding. Binnen tien minuten is het evenwicht echter weer volledig hersteld, door het oplossen of neerslaan van octocalciumfosfaat.

Bloedplasma en bot

Door activiteiten in vooral de nieren en de longen wordt de pH van het bloedplasma bij de gewervelden nauwkeurig rond de 7,4 gehouden. Bij de gezonde volwassen mens is de pH van de extracellulaire vloeistof in het bot hoger dan die van het bloedplasma. Zoals gezegd, is de extracellulaire vloeistof in evenwicht met octocalciumfosfaat. Bovendien is het transport van calcium en fosfaat tussen de twee vloeistoffen passief, zodat de concentraties aan calcium en fosfaat in het bloedplasma voortdurend praktisch gelijk zijn aan die in de botextracellulaire vloeistof. Eventuele storingen daarin verdwijnen binnen enkele uren. Het optreden van een pH-verschil zorgt echter een niet-evenwichtstoestand bloedplasma en botextracellulaire vloeistof. Zou het bloedplasma met zijn lagere pH in direct contact staan met het octocalciumfosfaat in het bot, dan zou de concentratie van calcium en fosfaat in het bloedplasma stijgen tot het niveau dat overeenkomt met de hogere oplosbaarheid bij die lagere pH.

In deze toestand hangt de stabiliteit van het bot ervan af of de pH van de botextracellulaire vloeistof ook inderdaad voortdurend boven



4. Een pijpbeen groeit in de lengte door de activiteit van de groeischijf. Hierin bevinden zich delende kraakbeencellen (de celkolommen) die vervolgens vergroten en degenereren. Tussen de degenererende cellen wordt mineraal (hier blauw) afgezet, dat vervolgens door osteoclasten wordt afgebroken. De osteoblasten leggen daarna weer bot neer.



5. De toepassing van de echocardiograaf is niet beperkt tot het hart. Via een minuscule geluidsbron op de punt van een catheter, kan de arts ook

informatie uit de bloedvaten vergaren. Dit type meting geeft inzicht in de aanwezigheid van vaatvernauwingen en verkalkingen van bloedvaten.

die van het bloedplasma wordt gehouden. Er zijn daarbij twee mechanismen betrokken. Het ene mechanisme is reeds genoemd: de balans tussen de hormonen calcitonine en oestrogeen enerzijds en parathryreoïdhormoon anderzijds. Het andere mechanisme maakt gebruik van H+/K+-pompen van de cellen in het vlies rondom het bot. Deze cellen pompen voortdurend kalium-ionen in en waterstofionen uit de botextracellulaire vloeistof. De activiteit van de beide genoemde mechanismen verschuift in de botstabiliserende richting na inname van een magnesiumpreparaat.

Uit het voorgaande blijkt, dat bij gezonde volwassenen het bloedplasma onderverzadigd is aan octocalciumfosfaat. Er zijn echter enkele ziekten – zoals osteoporose, ziekte van Paget (zeldzame botziekte), hyperparathyroïdie (verhoogde werking van de bijschildklieren), tetanus en metastase (de verspreiding van kankercellen) – waarbij het bloedplasma oververzadigd raakt. Bij de gegeven werking

Gewichtloosheid en bot

et is al lang bekend dat hormonen de activiteit regelen van de botcellen die voor de aanmaak en de afbraak van de gemineraliseerde botmatrix zorgen. Maar de mechanische belasting van het botweefsel is ook zeer belangrijk. Zo zien we bij meer dan normale belasting een toename van de botmassa in het betreffende botstuk, bijvoorbeeld bij tennissers in de serveerarm of bij fervente joggers in de benen. Aan de andere kant blijkt dat de botmassa afneemt als de mechanische belasting lager is dan normaal. Dit treedt bijvoorbeeld op bij weinig mobiele of bedlegerige mensen of bij astronauten tijdens de gewichtloosheid.

Voor de bestudering van de directe effecten van de mechanische belasting op botweefsel, dus met uitsluiting van de hormonale invloed, passen we weefselkweektechnieken toe. Bij dit (in vitro) onderzoek gebruiken we geïsoleerde cellen (kraakbeencellen en osteoblasten) en uitgeprepareerde, complete pijpbeentjes.

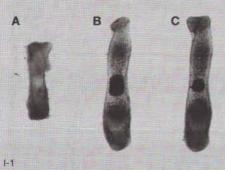
Voor de *in vitro*-bestudering van verminderde mechanische belasting is een situatie van gewichtloosheid (microzwaartekracht) een ideale omgeving. Er is veel werk verricht om weefselkweektechnieken zo aan te passen, dat geïsoleerde pijpbeentjes van muizenembryo's onder microzwaartekracht kunnen worden gekweekt.

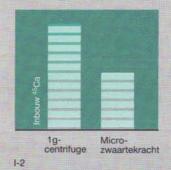


INTERMEZZO

In januari 1992 koos de spaceshuttle het luchtruim, met aan boord het eerste internationale microzwaartekrachtlaboratorium (International Microgravity Laboratory, IML-1 Spacelab). Dankzij de coördinatie en met steun van de Stichting Ruimte Onderzoek Nederland, een onderdeel van NWO, bevonden zich aan boord ook Nederlandse experimenten, waaronder het experiment met de muizepijpbeentjes. Na vier dagen keerde de spaceshuttle terug en kon men nagaan wat het effect van microzwaartekracht op de mineralisatie van de beentjes is.

Het experiment ging uit van nog niet gemineraliseerde pijpbeentjes (afb. I-1a). Een aantal pijpbeentjes aan boord bevond zich in een centrifuge die als het ware de aardse zwaartekracht, I g, simuleerde. De overige beentjes groeiden onder microzwaartekracht. Tijdens de kweek van vier dagen trad normale mineralisatie op in het centrale deel van het pijpbeentje, de diafyse. De diafyse van een pijpbeentje dat is gekweekt onder microzwaartekracht (afb. I-1c) is echter veel minder lang dan die van het muizepijpbeentje dat zich tijdens de vlucht in de centrifuge bevond (afb. I-1b). Gemiddeld bleef de diafyselengte 31% achter. De voorlopige resultaten van een dergelijk experiment aan boord van de Russische biosatelliet Bion-10, in oktober 1992, zijn vergelijkbaar.







I-1 en I-2. Bij het beschreven experiment, gingen ongemineraliseerde pijpbeenties de ruimte in (a). Het pijpbeentje dat is gekweekt onder microzwaartekracht (c) heeft een veel kleinere diafyse dan het beentje dat tijdens de vlucht in een centrifuge verbleef (b). De inbouw van 45Ca in de mineraliserende diafyse van piipbeenties, verschilt ook aanzienlijk. In de 1g-centrifuge is deze inbouw veel groter.

I-3. De Duitse astronaut Flade (links) vertrekt in maart 1992 met twee Russische collega's naar het ruimtestation MIR. Bij een lang verblijf in de ruimte kan de botmassa afnemen, doordat de botten te weinig belasting ondervinden, Lichamelijke oefening moet dat voorkomen.

Ook de inbouw van radioactief calcium, ⁴⁵Ca, in het mineraal wijst, zoals te verwachten, op een remming van de mineralisatie onder microzwaartekracht. Tijdens de IML-1-missie kregen we bovendien aanwijzingen, dat niet alleen de verminderde mineralisatie verantwoordelijk is voor het botverlies dat optreedt als gevolg van verminderde mechanische belasting tijdens microzwaartekracht. Ook de afbraak van de verkalkte botmatrix door osteoclasten is sterk verhoogd, met 41%.

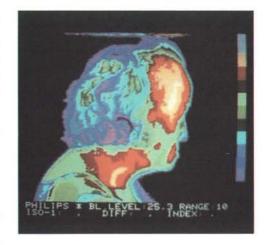
Al met al heeft een verminderde mechanische belasting (microzwaartekracht) dus een direct effect op de cellen in het bot. De mineralisatie-processen waarvoor osteoblasten en kraakbeencellen verantwoordelijk zijn, worden daarbij geremd; de botafbraak door osteoclasten neemt daarentegen toe.

Dr J. Paul Veldhuijzen Ing. J.J.W.A. van Loon Academisch Centrum Tandheelkunde A'dam van darmwand en nieren, die de calciumconcentratie in het bloed op een gelijkblijvend niveau willen handhaven, betekent dit, dat deze ziekten niet alleen zullen leiden tot botverlies, maar ook tot pathologische verkalkingen, vooral van bloedvaten en hartkleppen en, onder andere in de gewrichten, van kraakbeen. Dit is slechts mogelijk, als de pH van de botextracellulaire vloeistof is gedaald tot beneden die van het bloedplasma.

Osteoporose en verkalking

Bij de ziekte van Paget en bij hyperparathyreoïdie moeten we de voornaamste oorzaak van de verzuring van de botextracellulaire vloeistof zoeken in een verstoring van het hormonale evenwicht. Onder endocrinologen heerst de mening dat dit ook het geval is bij osteoporose. In 1990 bleek echter, dat een tekort aan intracellulair magnesium de ware oorzaak van osteoporose is. Verder is bekend dat patiënten met osteoporose ook altijd last hebben van aderverkalking en kraakbeenverkalking. Tabel 2 laat het verband zien tussen leeftijd en de frequentie waarmee enkele verouderingsziekten voorkomen. Vooral deze ziekten zijn er de oorzaak van dat bij ouderen zo'n groot verschil tussen morbiditeit en mortaliteit optreedt, of met andere woorden, dat ze gemiddeld zoveel jaren hulpbehoevend zijn voor ze sterven.

Osteoporose staat in de volksmond bekend als het 'verslijt' van de wervels, dat zich voor-





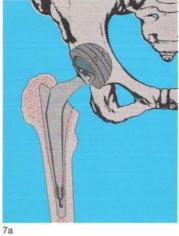
-

TABEL 2	Incidentie van enkele verouderingsziekten in de geïndustrialiseerde landen
---------	--

Ziekte	Leeftijd	Incidentie (%)
Phlebolieten	45	55
Dementie	65	5-10
	80	20
Osteoporose	60	25-40 (vrouwen)
	60	10-20 (mannen)
Aortaverkalking	55	18
	65	42
	75	60
Kraakbeenverkalking	75	25
	90	35

al uit in pijn van nek, hoofd en schouders of in rugpijn. Een ander probleem zijn de phlebolieten, verkalkingen van de vettige plaques aan de binnenkant van de aderen waarin cholesterol zich ophoopt. Deze plaques komen ook bij jonge mensen voor, maar kunnen bij hen doorgaans nog verdwijnen. Als ze echter verkalken, is er sprake van blijvende adervernauwing. Die kan leiden tot krampen en infarcten. Ook aderverkalking (verkalking van de wand van de bloedvaten) komt veel voor en is de oorzaak van ongeveer vijftien procent van de gevallen van dementie.

Verkalking van het gewrichtskraakbeen veroorzaakt ondraaglijke pijnen. Om dit leed van de patiënten te verhelpen, zet men in de wereld op het ogenblik per jaar meer dan zeshon-

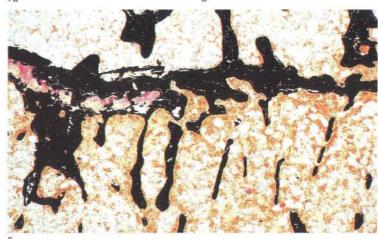




7. Een van de gevolgen van osteoporose is de breekbaarheid van het botweefsel. Met name de heup en de pols blijken kwetsbare gewrichten te zijn. In Middlesex heeft men een nieuwe lijm ontwikkeld om kunstheupgewrichten mee te bevestigen. Door de lage verwerkingstemperatuur blijven patienten vervolgoperaties bespaard.

 De ziekte van Paget is een pijnlijke kwaal. Een thermogram toont de toegenomen warmte die is ontstaan door de verhoogde bloedvoorziening van de botten en de omliggende weefsels.

8. Na de groeiperiode verdwijnt de groeischijf geleidelijk. De hoeveelheid kraakbeencellen neemt af en de groeischijf raakt verkalkt, om uiteindelijk in het net van botbalkjes (zwarte structuren) te worden opgenomen.



derdduizend nieuwe kniegewrichten en nieuwe heupgewrichten in. Iedere operatie komt met bijkomende kosten op ongeveer dertigduizend gulden of een half miljoen frank.

Een tekort aan magnesium in de cellen, leidt dus tot osteoporose. Bij patiënten die al aan ernstige osteoporose lijden, verhelpt magnesiumtoediening de mankementen slechts in geringe mate. De therapeutische waarde is erg beperkt. De preventieve waarde van de magnesiumtoediening is echter groot. Zo ontwikkelt zich bij vrouwen in de menopauze alleen osteoporose als er in hun voeding te weinig magnesium zit (200 mg per dag in plaats van de aanbevolen 400 mg). Een beginnend botverlies wordt in dat stadium door inname van extra magnesium omgezet in een bottoename.

Gewrichtsverkalkingen die zijn ontstaan door een blessure, verdwijnen volledig na een bijtijdse injectie van magnesiumpreparaten. Dit lukt zolang de verkalking nog uit octocalciumfosfaat bestaat. Omdat er nog geen gevoelige meetmethoden voor aderverkalking en gewrichtsverkalking bekend zijn en omdat deze verkalkingsprocessen sluipend verlopen, zal het nog wel even duren voordat onderzoekers kunnen bewijzen dat extra magnesiumtoediening deze verkalkingen voorkomt.

We hoeven daar echter niet op te wachten. Bekend is dat een tekort aan intracellulair magnesium leidt tot oververzadiging van het bloedplasma aan octocalciumfosfaat en dat de toediening van extra magnesium leidt tot herstel van de normale toestand van onderverzadiging. Als iemand wil weten of hij behoort tot de mensen die zijn gebaat bij extra magnesiumtoediening, dan is het voldoende om het magnesiumgehalte van de rode bloedlichaampjes te laten bepalen.

Eenmaal daags na het eten

De officieel aanbevolen hoeveelheid magnesium in de voeding bedraagt vierhonderd milligram per dag. In landen zoals India wordt de voeding zo bereid dat deze hoeveelheid praktisch wordt gehaald. Desondanks komt osteoporose daar nog bij zeker tien procent van de oudere bevolking voor. Dat betekent dus dat de aanbevolen hoeveelheid magnesium te laag is geschat. Bij ons is het magnesiumgehalte van het voedsel niet hoger dan gemiddeld 250 mg per dag. Wij moeten dus gemiddeld dagelijks meer dan 150 mg magnesium tot ons nemen. Het blijkt dat patiënten met ernstige osteoporose dagelijks wel 600 tot 800 mg magnesium extra nodig hebben om het intracellulaire magnesium op het normale niveau te brengen.

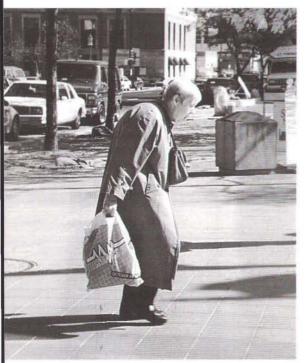
Actieve osteoblasten zorgen voor de aanmaak van nieuw botweefsel. In ruw endoplasmatisch reticulum (*) maken ze onder andere collageen en enzymen. Het collageen vormt het voornaamste bestanddeel van de eiwitmatrix van het bot, herkenbaar als gestreepte structuren (→). Enzymen als alkalische fosfatase helpen bij de mineralisatie van de matrix

10. Het optreden van osteoporose is het meest duideliik bij botdelen die bestaan uit vrij veel botbalkjes en weinig compact bot, zoals de rugwervels. Door fracturen kunnen de wervels geheel inzakken, met als gevolg een kortelichaamslengte. Als wervels alleen maar aan de voorkant vervormen. treedt er een typische kromming van de rug op.



9

De pH van bloedplasma en van botextracel-



lulaire vloeistof varieert van uur tot uur. Er zit duidelijk een dagelijks ritme in. Daarom treden er ook schommelingen op in de verzadigingsgraad van bloedplasma met octocalciumfosfaat. Rond het middaguur vinden we een minimum in de verzadigingsgraad en rond middernacht een maximum. Om calcium en fosfaat in het botmineraal te houden en om pathologische verkalkingen te voorkomen, moet dat maximum worden onderdrukt. Bekend is dat de extra dosis magnesium die daarvoor kan worden gebruikt, ongeveer vier uren na inname zijn grootste effect bereikt. Extra magnesiumtoediening is daarom het meest effectief tegen osteoporose en pathologische verkalkingen, als het preparaat dagelijks om acht uur 's avonds wordt ingenomen.

Onafhankelijk van het type magnesiumpreparaat, absorbeert de darmwand ongeveer drietiende van het ingenomen magnesium. Een deel daarvan komt terecht in het botmine-



minuut, scheiden hun nieren het overtollige magnesium te langzaam uit. Na verloop van tijd kan dat merkbaar zijn aan een tragere werking van de zenuwen en de spieren. Nierpatiënten mogen dus slechts kleinere hoeveelheden extra magnesium innemen, bij voorkeur ook niet iedere dag. Als dit gebeurt, mag het alleen onder regelmatig medisch toezicht.

Preventief mineraal

Er is weinig reden om te verwachten dat mensen gemiddeld langer zullen leven, als ze vanaf hun 35e jaar dagelijks magnesium zullen innemen. De enige uitzondering hierop vormt misschien de groep van mensen die uiteindelijk sterft aan hart- en vaatziekten. Dat is de helft van onze bevolking. Onderzoek op dit gebied is echter zo kostbaar, dat we voorlopig geen groter inzicht op dit punt hoeven te verwachten. Wel is het denkbaar dat als een groot deel van de bevolking dagelijks hun portie magnesium inneemt, dit voor veel mensen kan leiden tot een oude dag waarin ze gemiddeld veel minder lang hulpbehoevend zijn voordat ze sterven. Magnesium kan naar verwachting aanzienlijk bijdragen aan de stabiliteit van ons lichaam, zodra dat volwassen is geworden.

raal, een ander deel belandt in de intracellulaire vloeistof en de overmaat wordt binnen tien uur na inname door de nieren uitgescheiden. Wat dat betreft doet het er dus weinig toe welk magnesiumpreparaat we kiezen. Uitgaande van het magnesiumgehalte in verhouding tot de prijs, is thans het basisch magnesiumcarbonaat het goedkoopste. Helaas krijgen drie op de tien mensen last van diarree als ze dit preparaat innemen. Dan verliezen ze meer magnesium, calcium en fosfaat dan dat ze zonder magnesiumtoediening zouden kwijtraken. In dat geval kan de arts ze beter een mengsel van basisch magnesiumcarbonaat en magnesiumglycerofosfaat-hydraat (ieder ongeveer 50 gewichtsprocent) voorschrijven.

Patiënten met een slechte nierwerking hebben doorgaans ook een tekort aan intracellulair magnesium. Ze moeten echter oppassen met dagelijkse magnesiumtoediening. Als de zogenaamde glomerulaire filtratiesnelheid van hun nieren kleiner is dan dertig milliliter per

Literatuur

 Groot CG, Vermeer C. Osteocalcine - Signaaleiwit voor boteiwitten. Natuur & Techniek 1988; 56: 3, 234-245.
 Driessens FCM, Blomen LJMJ, Verbeeck RMH. Magnesium in hart en nieren. Natuur & Techniek 1986; 54: 1, 54-67.

Bronvermelding illustraties

Prof dr U. Bonse, Vakgroep Natuurkunde, Universiteit Dortmund, D, en prof dr G. Delling, Universiteitsziekenhuis Eppendorf, Hamburg, D: pag 324-325 (botstructuren).

Het Nederlands Zuivelbureau, Rijswijk: pag. 324-325 (achtergrond).

Dr H.M. Theuns, Instituut voor veroudering- en vaatziektenonderzoek TNO: 1, 9 (met dank aan mw. E. Blauw), 3, 4, 8, 10. Sandoz, Uden: 2, 6.

Siemens, 's-Gravenhage: 5.

London Pictures Service/Britse Ambassade, Den Haag: 7. Dr J.P. Veldhuijzen, Vakgroep Orale Celbiologie, ACTA

Amsterdam: I-1 en I-2. ANP/EPA Photo: I-3.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

Raadse 1

De wetenschap schiet tekort om zoiets simpels als het lopen te verklaren

p z'n vijftiende ontdekte de schrijver van dit artikel hoe moeilijk lopen is. Na enkele maanden ziekenhuisverblijf moest ik 't met een looprek opnieuw Verslapte leren. spieren. Maar er was ook iets mis met mijn coördinatie. Toen ik een op de grond liggende ballon probeerde stuk te trappen, miste ik hem niet alleen, ik trapte bovendien veel te hard. Gevolg: een paar dagen terug in bed en röntgenfoto's van middenvoetsbeentje. m'n Sinds die tijd ben ik al lang weer vergeten hoe moeilijk lopen is. Lopen doe je zonder erbij na te denken. Dat kun je gewoon.

De wereldkampioen hardlopen, de schaatsers, de acrobaten en de balletdansers zijn degenen die voor hun bewegingen worden toegejuicht. Maar ondertussen verrichten we dagelijks allemaal kleine wonderen. "Lopen wordt ontzettend onderschat. Ik wou dat mensen wat verraster zouden zijn over dit ongelooflijke vermogen", aldus dr Onno Meijer, bewegingswetenschapper aan de Vrije Universiteit in Amsterdam.

De Amsterdamse bewegingswetenschappers worden te hulp geroepen bij revalidatie, bij bewegingsstoornissen, als er adviezen nodig zijn voor de schaatsploeg of bij het ontwerpen van stoelen, en ze pogen de complexe mechanica van het bewegen te doorgronden. De Vrije Universiteit herbergt de grootste fa-Bewegingswetenculteit schappen ter wereld. De faculteit bestaat uit zeven vakgroepen. Meijer werkt bij de vakgroep die zich bezighoudt met de theorie en de geschiedenis van het vakgebied. Samen met zo'n honderd collega's in binnen- en buitenland poogt hij een theorie te ontwikkelen die het bewegen kan verklaren.

Het grootste probleem voor elke theorie van het bewegen is het verklaren van zowel het 'waarom'. 'hoe' als het Lopen, en bewegen in het algemeen, is een doelgerichte activiteit. Als we lopen is het normaal gesproken niet zo dat we worden gelopen, vandaar het gevoel zelf de baas te zijn over het bewegen. Wordt dat verstoord, dan zijn we in de war. Een vallend mens voelt zich behoorlijk stom; overeind krabbelend kijkt hij schielijk om zich heen, hopelijk heeft niemand het gezien.

We realiseren ons niet bewust welke spieren we moeten aanspannen en evenmin kennen we de duizelingwekkende hoeveelheid impulsen en chemische reacties die ervoor zorgen dat we überhaupt een stap kunnen zetten. Toch slagen we er op de een of andere manier in een abstract doel ('Ik wil naar de markt') te vertalen in de gecoördineerde samentrekking en ontspanning van talloze spiervezels.



"Lopen wordt ontzettend onderschat." (foto: Ger

We blijken niet zoals de een of andere supercomputer alle mogelijkheden door te rekenen. Meijer: "Je hebt acht grote spieren in je linker- en rechterbeen. Laten we ervan uitgaan dat die met elke pas vier keer van toestand veranderen. Dan heb je 64 mogelijke toestanden. Je bent een baby die wil leren lopen en je gaat de juiste volgorde uitproberen. Dan heb je ongeveer tien tot de 89ste mogelijkheden. Het heelal bestaat 10 tot de 17de seconde. Een baby die geboren is tijdens de Big Bang en alle mogelijke volgorden van het aanspannen van zijn grote spieren uitgeprobeerd, heeft vanaf de Big Bang 10 tot de 72ste experimenten per seconde moeten doen. Dat is blijkbaar niet de manier waarop wij het doen.'

Het klassieke idee dat het brein de beweging tot in alle details stuurt, klopt niet. Op zichzelf is deze constatering overigens niet zo nieuw. In de zeventiende eeuw trok Robert Boyle (1627-1691) deze conclusie al uit zijn experi-

echter nog een lange tijd daarna vrolijk rondspringen, "terwijl ik zijn hart tussen mijn vingers voelde kloppen", zo schreef Boyle. Het brein viel als centraal sturingsapparaat af nadat ook onthoofde kikkers hardnekkig

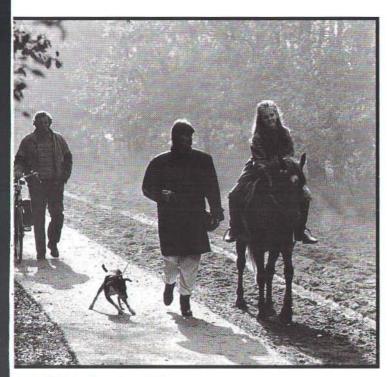
"Als een baby die leert lopen alle mogelijkheden van zijn spieren uitprobeert, heeft hij vanaf de Big Bang 10 tot de 72ste experimenten per seconde moeten doen"

menten met kikkers. Hij wilde Descartes' idee dat de geest het lichaam volkomen bestuurde proefondervindelijk testen. Het hart werd gezien als een mogelijke contactplaats tussen geest en materie, dus sneed Boyle het hart uit een kikker. Die bleef bleven bewegen. Twee eeuwen later werd dit bevestigd door kikkerexperimenten van de fysioloog Eduard Pflüger (1829-1920). Hij sneed het ruggemerg in het halsgebied door, zodat het brein geen signalen meer kon geven aan de poten. Toch bleek zo'n functioneel onthoofde kikker niet alleen te kunnen bewegen, maar zelfs te kunnen leren. Als Pflüger zuur op het lichaam druppelde, krabde de kikker dat er met een poot af. Knipte Pflüger vervolgens die poot af, dan gebruikte de kikker na een paar vruchteloze stompbewegingen een andere poot.

Ruitenwissers

Het is maar goed dat bewegen niet gedetailleerd centraal wordt gestuurd. Dat zou zoveel tijd kosten, dat we geen voet voor de andere zouden krijgen. Het is niet alleen ondoenlijk alle mogelijkheden van het eigen lichaam te berekenen, de omgeving is bovendien telkens weer anders. Na de Russische Revolutie onderzocht de fysioloog Nikolai Bernstein (1896-1966) de hamerbewegingen van fabrieksarbeiders. Geen twee slagen bleken identiek te zijn.

Meijer: "Bernstein was de eerste die erin slaagde een

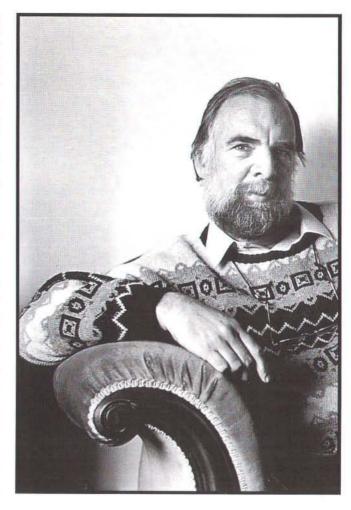


Loeffen/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

formele oplossing voor het probleem van het bewegen te vinden." Bernstein benadrukte de non-lineariteit van bewegen. Sturing vindt niet plaats door de beweging gedetailleerd voor te schrijven, maar heeft alleen betrekking op de hoofdlijnen ('sla de nagel het ijzer in'). Hij sprak "coördinatie-sturing". van Meijers theorie bouwt voort op die van de Rus, met behulp van de wiskunde van de dynamische systemen, algemeen bekend als de chaostheorie. Hij laat zich daarbij vooral inspireren door de Duitse natuurkundige Hermann Haken, die eind jaren zestig het gedrag van laserlicht onderzocht en daarop een nieuwe theorie baseerde over toestandsveranderingen in dynamische systemen, de synergetica.

Meijer ziet het bewegen als een bepaalde toestand van een complex systeem. "Er zijn de laatste tien tot vijftien jaar steeds meer experimenten gedaan waaruit blijkt dat het bewegen een eigen orde in stand kan houden ondanks, binnen bepaalde grenzen, verstoringen." Tijdens een wandeling is elke stap net weer even anders, maar toch is het lopen als geheel constant

Vingerexperimenten van de Amerikaan Scott Kelso hebben gedemonstreerd dat ook ritmes kunnen worden vastgehouden. Hij vroeg proefpersonen hun beide wijsvingers in tegenfase, als ruitenwissers, heen en weer te bewegen. Dat moesten ze steeds sneller doen. De meeste mensen eindigen in fase, hun vingers gaan tegelijkertijd omhoog en omlaag. Maar omgekeerd gaat het niet op, bij verlangzaming blijven de vingers in fase. Meijer: "Als je mensen dat honderd keer laat doen, dan vindt die overgang



van fase elke keer net op een ander moment plaats. Als je de herhalingen met elkaar vergelijkt, dan blijkt er een overgangszone te zijn. Die wordt gekenmerkt door wilde fluctuaties. Bovendien herstelt het systeem zich daar maar langzaam van verstoringen. Dit kun je allemaal moeilijk verklaren zonder een systeemtheorie."

Alledaagse ervaringen wijzen volgens Meijer in dezelfde richting. "Hardlopen kost meer energie dan stilstaan. Maar als je nu van hardlopen terug wilt gaan naar stilstaan, Dr Onno Meijer. (foto: Bob Bronshoff/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

Bewegingsonderzoek is al oud, getuige deze vermoedelijk door Titiaan vervaardigde afbeelding bij Vesalius' De Humani Corporis Fabrica uit 1543.



dan kost je dat moeite. Je moet er even wat meer energie tegenaan gooien." Meijer verklaart dit met behulp van een potentiaallandschap. Iedere bewegingstoestand is daarin omgeven door energiedrempels, ook de hoogenergetische. De hardloper moet over die drempel heen, voordat hij in de stilstaande toestand terecht kan komen.

Kroonkakatoe

Dit systeemmodel van het bewegen kan nieuwe ideeën over bewegingsstoornissen en ziekten tot gevolg hebben. Aan de VU wordt op dit moment veel nagedacht over de ziekte van Parkinson. Meijer denkt dat een deel van de symptomen kan worden verklaard door ervan uit te gaan dat mensen in een bepaalde bewegingstoestand kunnen zitten. Ze missen dan het vermogen over de energiedrempel heen te komen. "Er zijn patiënten die niet kunnen veranderen. Ze zitten en ze kunnen niet staan. Als ze staan, kunnen ze niet lopen. Lopen ze eenmaal dan kunnen ze niet meer stoppen en gaan soms steeds sneller lopen tot ze vallen. We kun-



nen dit met behulp van de theorie van de dynamische systemen beschrijven als gevangenzitten in een bepaalde toestand."

Deze theorie kan de ziekte zeker niet genezen, maar wel aanwijzingen opleveren voor gedragstherapieën. Door op het juiste moment extra energie aan de patiënt toe te dienen of door de overgangsdrempel lager te maken, zou de 'bevriezing' ongedaan kunnen worden gemaakt. "Er zijn bijvoorbeeld Parkinsonpatiënten die niet door een open deur heen kunnen. Als

kan opleveren. "Nogmaals: we kunnen de ziekte niet genezen. Maar we kunnen wel adviezen geven die de patiënt en de partner kunnen uitproberen. Allicht dat er een paar helpen. Daardoor kan de kwaliteit van het leven thuis verbeteren. Het enige dat nodig is, is het denken in termen van fase-overgangen. En dat weet iedereen eigenlijk al. Veel therapeuten hanteren dit soort oplossingen overigens al vanuit hun praktijkervaring. Het is vooral nieuw voor de wetenschap. Dat geeft wel weer het voordeel

Meijers theorie kan de ziekte van Parkinson niet genezen, maar kan wel aanwijzingen opleveren voor gedragstherapie

je naar een open deur loopt, zie je de gang daarachter steeds groter worden. Op het moment dat je in de deuropening staat, is je landschap plots veranderd. Fysisch maak je dan een crisis door; je komt in een andere toestand. Veel Parkinson-patiënten kunnen die overgang niet maken."

Een van Meijers studenten heeft patiënten aangeraden een sleutelbos in de hand te nemen en die, als ze vastzitten, door de deuropening te gooien. Het zien van de beweging van de sleutelbos geeft ze net de extra impuls die ze over de drempel haalt. Een tweede mogelijkheid die Meijer oppert, is het schilderen van witte strepen door de deuropening heen. "Als ze zich dan op die strepen concentreren, verandert het landschap pas als die strepen ophouden. Je maakt die drempel dan lager."

Meijer is "razend enthousiast" over de mogelijkheden die deze manier van kijken dat allerlei nieuwe mogelijkheden systematischer kunnen worden beproefd."

De theorie van dynamische systemen kan veel problemen in de coördinatie van het bewegen verklaren. Maar het aloude sturingsprobleem is daarmee bepaald nog niet opgelost. De theorie is goed in het verklaren van het ontstaan van macroscopische orde uit microscopische chaos, maar de omgekeerde weg wil nog niet zo goed lukken. In de fysica is dat niet zo erg, omdat de gehanteerde modelsystemen daar vaak homogeen zijn. Het bewegingsapparaat is echter bij uitstek zeer gevarieerd van samenstelling. Al die verschillende onderdelen moeten op het juiste moment aan en uit worden gezet en dat elke keer net weer even anders.

Meijer: "Bewegen is twee dingen tegelijk. Je kunt er in functionele termen over praten, zoals 'de paringsdans van de kroonkakatoe', of in causale termen van dat ongeloofSIMON ROZENDAAL

lijk ingewikkelde bewegingsapparaat. Dan heb je het over het vuren van neuronen en zo. Die twee beschrijvingen zijn niet goed op elkaar te passen. Met behulp van de theorie van de dynamische systemen begrijp ik wel hoe een myriade van zenuwen en pezen een lopend organisme kan opleveren. Maar hoe kan dat organisme vervolgens doelgericht bewegen?"

Meijer zoekt het op dit moment in de vergelijking met het oplossen van cryptogrammen. Iedere soort beweging vormt een probleem dat door het organisme wordt opgelost. Zoals een cryptogrammer niet willekeurig alle mogelijke combinaties van alle letters uitprobeert, maar een zoekstrategie volgt, zo doet een organisme dat ook. Door vereenvoudiging van het probleem wordt het hanteerbaar. Dat probleemoplossen gebeurt niet alleen in het brein, maar in alle lagen van het bewegingsapparaat. Elke hogere laag bevat een vereenvoudiging van de lagere. De intelli-

gentie is gespreid.

Meijer: "Ik denk dat de intelligentie die wij zo opvallend vinden bij het oplossen van cryptogrammen een eigenschap is van alle levende systemen vanaf de eencelligen, eigenlijk van alle heterogene structuren." Tijdens het lopen lossen we permanent problemen op volgens een strategie die het meestal wel doet. Maar we zijn geen heer en meester over onze eigen bewegingen. We lopen in de meest letterlijke zin met vallen en opstaan. "In die zin gaan we er niet over, ook al denken de meeste mensen nog steeds van wel. Maar anderzijds gaan we er natuurlijk wel over, want niemand anders kan er over gaan", aldus Meijer.

Hij ziet een parallel met in slaap vallen. Iedereen doet het, maar niemand weet hoe. Het lijkt er op dat het zenuwstelsel in staat is paradoxale vergelijkingen op te lossen, waarin onvergelijkbare grootheden als 'ik wil naar Brussel' en 'geef neuron X impuls Y' tegelijkertijd voorkomen. Meijer: "Het zenuwstelsel is veel slimmer dan we dachten. Het combineert moeiteloos dingen die volgens de huidige westerse wetenschap helemaal niet kunnen worden gecombineerd.'

on tleders DER LICHAMEN

In de achttiende noch in de eenentwintigste eeuw kan een "regte Wijsgeer" de scheikunde missen

e laatste tijd hoort men steeds vaker de visie dat scheikunde als wetenschap niet zo interessant meer is. Het periodiek systeem der elementen is al lang af, veel nieuwe ontdekkingen zouden er niet meer zijn in de scheikunde en de industriële toepassingen van de chemie ontmoeten de laatste decennia steeds meer verzet.

Er wordt daarbij overdreven. De scheikunde is allesbehalve dood, zij is juist behoorlijk vitaal: de biochemie en biotechnologie floreren als nooit tevoren. Om vreemde redenen echter wordt het knutselen met DNA-molekulen meestal niet als scheikunde gezien, maar dat is het natuurlijk wel. Op dezelfde manier is de bloei van de milieukunde – de nieuwe kennis over het gedrag van stoffen als koolstofdioxide, gechloreerde koolwaterstoffen en ozon in de atmosfeer – een bewijs van de levensvatbaarheid van de scheikunde.

Toch leeft het idee dat de scheikunde stervende is, wel degelijk. In de media wordt niet zoveel aandacht aan scheikunde als vak besteed.

Dat is overigens niet nieuw om diverse redenen leent de wetenschappelijke discipline scheikunde zich wat minder goed voor artikelen in de wetenschappelijke rubrieken van kranten en tijdschriften (onder meer vanwege de eigen taal - de chemische formules – van de scheikunde). Ik denk dat iemand die er studie van zou maken, zou ontdekken dat ook aan het begin van deze eeuw niet zo heel veel over scheikunde werd geschreven. Iedere leek weet wie de vaders van de moderne natuurkunde zijn (Newton,



moment over een chemicus. Iemand met een internationale loopbaan en belangrijke bijdragen op het gebied van de milieukennis. Er bleek in die vergadering evenwel maar weinig enthousiasme te bespeuren voor deze man. De aanwezigen hadden moeite om hun aarzelingen te verklaren. Tenslotte zei iemand: "Ach, scheikunde, dat is anno 1993 toch niet interessant meer."

Ik denk dat dit nonsens is. De scheikunde kampt echter met een imago-probleem. Het aanzien van het vak scheikunde is enorm veranderd. Dat blijkt eens te meer uit de geschiedenis van de scheikunde in Nederland, zoals beschreven door de Utrechtse hoogleraar dr H.A.M. Snelders. Wat was enkele eeuwen geleden het imago van de chemie anders!

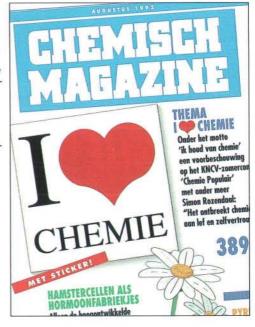
Petrus van Musschenbroek beschouwde de scheikunde zelfs als voorbeeld van hoe je natuurwetenschap moest bedrijven. In zijn boek Beginsels der natuurkunde. Beschreven ten dienste der 1739 Landgenooten uit schreef de hoogleraar dat de "scheikonstenaars" de "waare ontleeders der lighaamen" waren. Chemici, aldus Van Musschenbroek, "geven dikwijls de ware oorzaak van verschijnsels aan". Met ande-"geen regte re woorden, Wijsgeer kan de Scheikonst ontbeeren".

Boerhaave, een van de eerste grote Nederlandse chemici, vond het zelfs nodig om zich af te zetten tegen de veel te hoge achting voor de scheikundige. Hij heeft het over "de hoogmoed van hen, die er zich maar steeds dwaas op beroepen, alleen door de beoefening van de scheikunde de gehele schat van de medische wetenschap in bezit te hebben."

Misschien biedt Van Musschenbroek ook nog een verklaring waarom de scheikunde tegenwoordig minder po-

Bohr, Einstein), bij biologie worden er waarschijnlijk ook heel wat namen genoemd (Darwin, Van Leeuwenhoek, Pasteur), maar ik durf te wedden dat bijna niemand vaders van de scheikunde zou weten te noemen (Boyle en Lavoisier).

Daarnaast heerst echter ook de opvatting dat scheikunde niet zo interessant is. Pas maakte ik een vergadering mee over de planning van een reeks ambitieuze televisieavonden over Nederlandse wetenschapsmensen. Het gesprek ging op een gegeven De chemie is alleshond ayland Moderne landbouw en voeding, gezondheidszorg, kleurstoffen, weefsels, kunststoffen en onze energievoorziening zouden simpelweg ondenkbaar zijn zonder de scheikunde. Toch is het imago van het vak kennelijk zo slecht, dat zelfs de beoefenaren ervan aan een oppepper toe lijken te zijn. (foto: Ciba-Geigy)

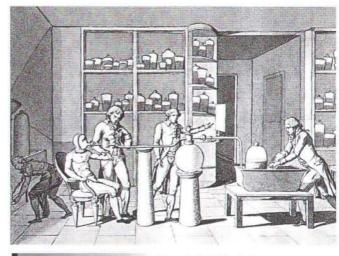


pulair is. Hij hield de scheikunde als lichtend voorbeeld voor van een wetenschapsbeoefening "waardoor men de Natuur als met geweld opent, en in haare geheimen met kracht zoekt in te dringen". Het is als de beschrijving van een verkrachtingsscène.

De laatste jaren hoort men steeds vaker de roep om een ander soort wetenschapsbeoefening. Een behoedzamer benadering waar men meer naar de natuur luistert. Wellicht past de scheikunde daar minder goed in. De scheikunde ontheiligt de natuur, in letterlijke zin zoals Van Musschenbroek aangaf en figuurlijk (de milieuvervuiling door de chemische industrie).



De scheikunde moet voor de toenmalige intellectueel inderdaad buitengewoon krachtig zijn geweest. De Italiaanse arts Angelo Sala bijvoorbeeld bewees door proeven dat kopervitriool (kopersulfaat plus water) uit koperas (koperoxide), zuurgeest (zwaveltrioxide) plus water bestond. Hij ontleedde de kopersulfaat in



Lavoisier bij een van zijn experimenten met ademhalingslucht.

Hij verhitte kwik in een oven bij 38 graden gedurende vijftieneneenhalf jaar – van 15 november 1718 tot 23 mei 1734 – en destilleerde het 511 maal. Dat was nog eens volhouden!

Door die behoefte aan experimenteren zetten scheikundigen het wereldbeeld op zijn kop. Water, dat lange tijd als een element werd beschouwd, bleek dat in 1781 Werd ze evenwel geopend, dan drong de lucht naar binnen en was de retort zwaarder geworden. Iets uit de lucht ging aan het tin zitten – het flogistonmodel klopte niet.

Het was een triomf voor de scheikunde. Wel duurde het betrekkelijk lang voor de theorie van Lavoisier en Priestley (die het nieuwe bestanddeel in lucht, zuurstof, ontdekte) werd geaccepteerd. De mensheid heeft klaarblijkelijk moeite met het herkennen van de waarheid.

De doorbraak dat verbranden had te maken met het zuurstofmolekuul, was te vergelijken met de ontdekking van Watson en Crick dat het verschijnsel erfelijkheid worden verklaard met het DNA-molekuul. Dit om even te benadrukken dat de scheikunde allesbehalve dood is. De ontdekking van het DNAmolekuul is een triomf van de twintigste-eeuwse scheikunde geweest en maakte de bloei van de meer biologisch gerichte scheikunde mogelijk. Scheikunde is alive kicking.

Vijfhonderdelfmaal destilleren en vijftien en een half jaar verhitten op 38 graden. Dat was nog eens volhouden!

die bestanddelen en wist vervolgens uit die bestanddelen weer kopersulfaat te maken. In de scheikunde openbaarde zich de drang tot weten door meten, de behoefte om al experimenterend wetten te ontdekken. Zo rekende Boerhaave af met de alchemistische opvatting dat kwik in goud of zilver kon overgaan door langdurige verhitting. De inspanning die hij daartoe moest leveren, was niet mis.

(Priestley en Cavendish) niet. Ook had men heel lang in het bestaan van het flogiston geloofd – een deeltje dat in veel stoffen zat en er bij verbranding uit zou ontsnappen. Het is een betrekkelijk logische theorie die veel kon verklaren.

Tot het moment dat er echt goed werd gemeten. Lavoisier vond dat wanneer je tin in een gesloten retort verhitte, de retort niet zwaarder werd.

ACTUEEL

De terugkeer van de heide

et heide-areaal in Nederland is gedurende de laatste twee eeuwen sterk verminderd. Van de 800 000 hectare heide in het jaar 1800 is er nog slechts 42 000 hectare overgebleven. De belangrijkste oorzaak voor de drastische afname is de ontginning van deze 'woeste gronden'.

Het resterende heide-areaal staat blootgesteld aan vele bedreigingen: stikstof die via neerslag op de heiden terecht komt, heidekeverplagen, strenge vorst droogte. Deze factoren leidden er toe dat bijna de helft van de heidegronden 'vergrast' en 'verboomd' is, dat wil zeggen dat grassen en bomen de heideplanten hebben weggeconcurreerd. De ontwikkeling is vanuit het oogpunt van natuurbeheer en -behoud ongewenst, omdat plante- en diersoorten die gewoonlijk voorkomen in de heidevegetatie, hiermee ook dreigen te verdwijnen. Bovendien wordt de recreatieve functie van de heiden hierdoor aangetast.

De afgelopen tien jaar is vooral door de Universiteit Utrecht veel onderzoek gedaan naar de oorzaken van de heidevergrassing. Onderzoekers van de vakgroep Botanische Ecologie en Evolutiebiologie richtten hun aandacht daarbij vooral op de 'droge' heide, waar struikheide (Calluna vulgaris) de dominante soort is. Dit heidetype beslaat ongeveer negen tiende van het totale heide-areaal in Nederland.

Uit het onderzoek is gebleken dat wat de vergrassing betreft, vooral de stikstof die via de neerslag naar beneden komt een belangrijke boosdoener is. Het mechanisme waarop stikstof de vergrassing beïnvloedt, is nogal ingewikkeld. Belangrijk is dat dode plantedelen zich voortdurend ophopen op de bodem van heidevelden. Deze dode plantedelen zijn

slecht afbreekbaar, zodat er een ophoping van strooisel en humus plaats vindt.

Ondanks de langzame afbraak van het dode materiaal, komt de stikstof die in het materiaal zit uiteindelijk toch weer beschikbaar voor heideplanten. Ook al is de afbraaksnelheid per eenheid materiaal erg laag, door de voortdurende ophoping van materiaal is na ongeveer twintig tot dertig jaar de totale stikstofbeschikbaarheid ontzettend hoog. Dit proces wordt sterk versneld door de extra aanvoer van stikstof uit de neerslag. Dit leidt dit tot een wijziging in de concurrentieverhouding tussen de heidestruiken en de grassen (bochtige smele en pijpestrootje). De verdringing van struikheide door grassen treedt echter alleen op als de struikheide wordt beschadigd door heidekevers, vorst of droogte. Met name de heidekeverplagen zijn de afgelopen decennia sterk in intensiteit en aantal toegenomen. Er zijn sterke aanwijzingen dat deze toename wordt veroorzaakt door de stikstof in de neerslag. Het resultaat is vergrassing van de heide.

Gelukkig is er een effectieve remedie tegen de vergrassing: afplaggen. Hierbij wordt de vegetatie te zamen met de bovenste (organische) laag van de bodem verwijderd. Het gevolg is dat zowel de grassen als de voedingsstoffen die in het organische materiaal zitten, worden verwijderd. Dit leidt tot een enorme afname van dc stikstofbeschikbaarheid, zodat de struikheide weer succesvol kan concurreren met de grassen. Er is echter nog een probleem: hoe komen de heideplanten weer terug? Dat probleem lost zich vanzelf op. Heidesoorten vormen namelijk een zogenaamde zaadbank in de bodem. De zaden kunnen er wet vijftig jaar lang kiemkrachtig blijven. Bij grassen is dat niet of nauwelijks het geval. Na het afplaggen staan heidezaden blootgesteld aan licht waardoor ze gaan kiemen en er weer een 'paarse' heide kan ontstaan. Ook al is er een technische oplossing voor het probleem van de vergrassing, het zal duidelijk zijn dat de oorzaak moet worden aangepakt. Modelberekeningen laten zien dat de huidige stikstofdepositie in Nederland met ongeveer zestig procent moet worden teruggebracht om de heidevelden duurzaam in stand te houden.

Dr R. Aerts, Universiteit Utrecht



Met machinaal plaggen gaat men de vergrassing tegen en kan de heide weer paars worden. (Foto: Staatsbosbeheer, Driebergen)

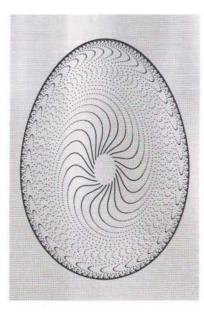
SIMULATICA

Prof dr H.A. Lauwerier

Paaseieren

In dit computertijdperk kunnen we een traditioneel volksgebruik als het kleuren van paaseieren nieuw leven inblazen. Geen ongelukjes en vieze vingers meer. In plaats van spinazie en rode kool gebruiken we nu de zestien EGA/VGA-kleuren van de computer. De resultaten zijn niet voor consumptie geschikt, maar wel lange tiid houdbaar, zoals elk op een diskette opgeslagen bestand. We beginnen met het zeer eenvoudige programma EIDYNS, dat zonder kleuren werkt. Het gaat om een iteratief dynamisch systeem, een herhaalde afbeelding van het platte vlak waarbij een beginpunt een baan genereert die uit oneindig veel punten bestaat. Onder bepaalde omstandigheden bestaat er een aantrekkende limietkromme die op een ei lijkt. Kenners zullen inzien dat dit een voorbeeld is van de Hopf-bifurcatie. In het centrum van de eivormige aan-

Het programma EIDYNS tekent een projectie van een Hopf-bifurcatie op een ei.



REM ***naam:EIDYNS***

SCREEN 12 : CLS
WINDOW (.2,-1.3)-(1.6,1.1)
A=.2 : B=A*A : C=A*A*A/2
X=1 : Y=.1 'startpunt
FOR N=0 TO 16000
PSET (X,Y)
Z=X : X=X+A*Y+.5*B*(1-X*X)
Y=Y+A*(1-Z*Z)-B*Y*Z-C*Y^3
NEXT N : A\$=INPUT\$(1)
END

trekker is er een instabiel evenwicht. Een beginpunt in de buurt van dat evenwicht genereert een spiraalvormige baan die naar de eivormige rand convergeert. Dat levert op het scherm een fraai beeld op. In het programma is er een parameter a die men zelf een beetje kan variëren. Ook het beginpunt kan ergens anders worden gekozen. Aldus kunnen heel wat eivormige banen worden gecreëerd.

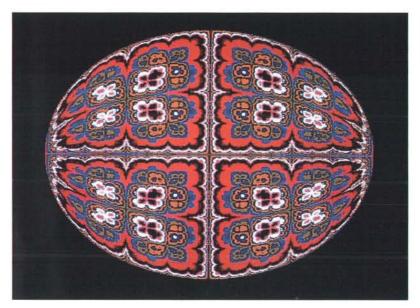
In het tweede programma gaan we uit van een vierkant (-1<x<1 en -1<y<1) dat we zullen gaan kleuren. Eerts vervormen we dat vierkant tot een cirkel door de transformatie u=x en v=y√(1-x2), waarbij u en v cartesische coördinaten zijn in het cirkelvlak. De onderzijde en de bovenzijde van het vierkant, y=±1, gaan daarbij over in de cirkelomtrek u²+v²=1. De linker- en rechterzijde van het vierkant schrompelen ineen tot punten. Tenslotte wordt de cirkel op de pixelmatrix van het beeldscherm afgebeeld met een zodanige horizontale uitrekking dat de daardoor gevormde ellips op een ei lijkt.

Nu willen we het ei nog van een kleurig motiefje voorzien. Om het ons gemakkelijk te maken en ook om tijd te besparen, zorgen we voor een patroon dat zowel horizontaal als verticaal symmetrisch is. Voor elke te kleuren pixel van het beeldscherm moet het simulatieprogramma de corresponderende positie (x,y) van

het vierkant bepalen. Daarvan behoeft dus maar een vierde gedeelte te worden gebruikt. Het enige wat nodig is, is een functie f(x,y) die voor waarden van x en y tussen 0 en 1 tot een kleurgetal leidt, een zogenaamd attribuut. Bij de veelgebruikte EGA/VGA-modus kan het attribuut 16 waarden hebben met evenzovele kleuren, 0 voor zwart, 1 voor blauw, 2 voor groen tot aan 15 voor wit. In het gegeven programma is de kleuring afgeleid uit een eenvoudige basisfunctie sin(\(\phi x \)) sin(\(\phi v \)), die waarden tussen -1 en +1 aanneemt. De functie wordt uitgebouwd tot een stukje van een reeks, waarbij elke term een verkleinde herhaling is van de voorafgaande term. Dat leidt tot een zelfgelijkvormigheid, de kenmerkende eigenschap van vele fractals. Wat er precies gebeurt, kan men zelf uit het programma afleiden. Het principe kunnen we duidelijk maken voor een functie die geometrisch met een halve bol, een berg dus, correspondeert. De tweede term plaatst daar vier kleinere halve bollen bovenop, waarbij zowel de hoogte als de horizontale afmetingen gehalveerd zijn. Vervolgens plaatsen we op het geheel 16 kleinere bolvormige bergjes die weer een factor twee kleiner zijn. Het proces kunnen we herhalen zolang het zinvol is. De limietsituatie is

```
REM ***naam:EIFRAC**
   SCREEN 12 : CLS
   XM=320 : YM=240 : PI=4*ATN(1)
REM ***functiekeuze***
   DEF FNA(X,Y)=SIN(PI*X)*SIN(PI*Y)
   A=1/2 : B=3 : C=5 : M=6
N1=240 : N2=180 'grootte plaatje
REM ***hoofdprogramma***
   FOR I=0 TO N1 : FOR J=0 TO N2
IF INKEY$<>"" THEN END
       X=I/N1 : Y=J/(SQR(1.01-X*X)*N2)
IF I*I/(N1*N1)+J*J/(N2*N2)>1 THEN GOTO repeat
       z = 1 - x
       FOR K=0 TO M
          X1=2^K*X-INT(2^K*X)
          Y1=2^K*Y-INT(2^K*Y)
          Z=Z+A^K*B*FNA(X1,Y1)
       NEXT K
       COL=1+INT(C*Z) MOD 14
       PSET (XM+I, YM+J), COL : PSET (XM-I, YM+J), COL
       PSET (XM-I, YM-J), COL : PSET (XM+I, YM-J), COL
repeat:
   NEXT J : NEXT I : A$=INPUT$(1)
```

een fractaal oppervlak, en dat oppervlak vinden we min of meer terug in de kleuring. In het programma wordt met behulp van de factor c de hoogte van het verkregen oppervlak herleid tot een kleurwaarde. Tenslotte bevat het programma nog een 'vormfactor' b. Wie van experimenteren houdt, kan beginnen met voor c, m en b andere waarden te kiezen. Tenslotte kan men voor de basisfunctie iets anders kiezen.



Wie een kleurenmonitor en een EGA- of VGA-kaart heeft, kan voor Pasen kleurige eieren op het scherm krijgen.

PIANEET AARDE

Sinds kort is dit boek ook voor abonnees van Natuur & Techniek verkrijgbaar tegen een gereduceerde prijs. Planeet Aarde is een portret van de Aarde waaraan enkele van de belangrijkste wetenschappers van onze tijd een bijdrage hebben geleverd. Het boek is gebaseerd op de bekende televisieserie The Miracle Planet, die ook in Nederland en België werd uitgezonden.

PLANEET AARDE verkent het miljarden jaren oude levensverhaal van de Aarde, onderzoekt de processen die onze planeet in de loop der tijden hebben veranderd en de krachten die haar toekomst bepaten.



- Om de omvang var gen vallel in Djibout te meten gebruiken Fran se geologen lasers va.
 - 2 (Armerorond) heel

Charles and the court

damp violentet krächt door de vloeibare deklaag boots



DE INHOUD

DE DERDE PLANEET

DE INWENDIGE WARMTE

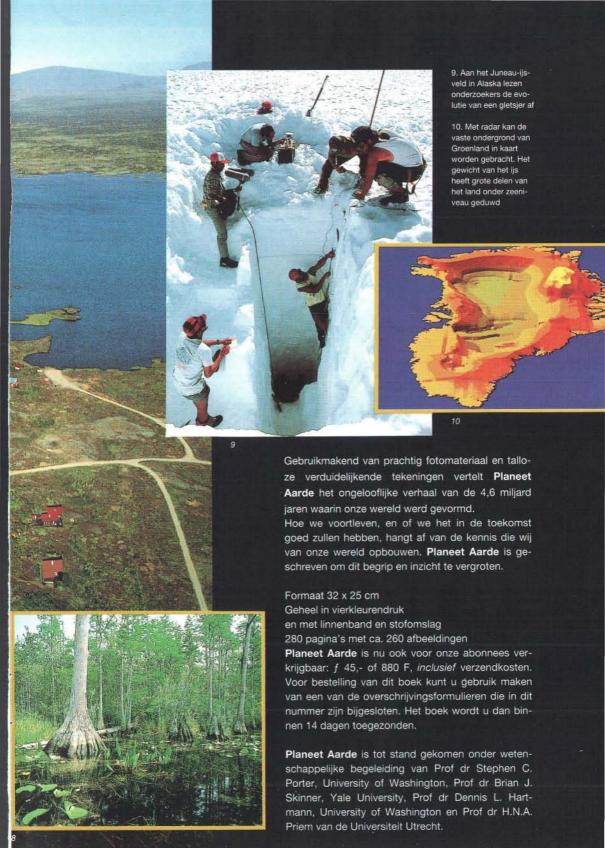
LEVEN UIT DE OCEAAN

Patronen in de Lucht

Raadsels van Zand en IJs

DE THUISPLANEET

- (Achtergrondafbeel ding) Met (inactieve) spleten in de aardbo dem hebben IJslanders leren leven
- 7. Sommige duintypen kunnen zich met een snelheid van ruim 30 km per jaar over het onderliggende vaste gesteente verplaatsen
- Driehonderd miljoen jaar geleden, tijdens het Carboon, leek een groot deel van de wereld op het Okefenokee-moeras

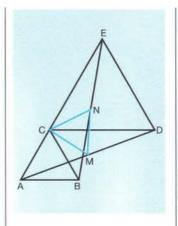


PRIJSVRAAG

Oplossing januari

In januari stuitte de professor op een geometrisch probleem. Hij kon langs de zijde van een verkeersbord een rechte lijn trekken naar een heuveltop. Het verkeersbord is een gelijkzijdige driehoek ABC. De lijn CE verbindt de bovenkant van het bord met de heuveltop E. De professor vormde een gelijkzijdige driehoek CDE met een punt D aan de voet van de heuvel. Het midden van het lijnstuk AD is M en het midden van BE is N. De vraag aan de lezers was: is de denkbeeldige driehoek CNM nu ook gelijkzijdig of niet?

De lijnstukken AC en BC zijn even lang, evenals CD en CE. Hoek ACD is gelijk aan hoek BCE, namelijk 120°. De driehoek



ACD is dus gelijk aan de driehoek BCE. Hieruit volgt dat CM net zo lang is als CN. Bovendien zijn dan hoek ACM en hoek BCN gelijk aan elkaar, evenals hoek MCD en hoek NCE. Hoek MCN is gelijk aan 180° min de hoeken ACM en NCE. Maar omdat hoek NCE gelijk is aan hoek MCD, volgt dat hoek ACM plus hoek hoek NCE gelijk is aan hoek ACD, namelijk 120°. Hoek MCN is dus 60° en de driehoek CMN is gelijkzijdig.

Deze maand kwam Johan Van Noten uit het Belgische Putte aan de top van het klassement en verdient daarmee een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek. De lootprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek, gaat naar P.H. Everhardus uit Goor.

De nieuwe opgave

Tot zijn grote genoegen is een onderzoeksvoorstel van de professor goedgekeurd en kreeg hij een kleine subsidie toegewezen. Met de verstrekte gelden schaft hij een nieuwe computer aan, compleet met een coprocessor, want het apparaat moet wel snel kunnen rekenen. Enthousiast duikt de professor zijn werkkamer in, en na een week kan hij zijn studenten het resultaat van zijn noeste arbeid tonen. Hij heeft een functiegenerator geprogrammeerd. Met enkele soepele toetsaanslagen start de professor het programma en na luttele seconden verschijnt op het scherm een algebraïsche formule:

$$f(n) = \frac{12n^3 - 5n^2 - 251n + 389}{6n^2 - 37n + 45}$$

"Ziehier", zegt de professor, "dit onfeilbare programma creëert tentamenopgaven. Voor welke waarden van $n \in \mathbb{N}$ is f(n) een geheel getal?"

Deze opgave werd ons ver-

strekt door de Nederlandse Onderwijscommissie voor Wiskunde. Om mee te dingen naar de lootprijs en om punten te verdienen in de laddercompetitie, dienen oplossingen voor 3 mei aan te komen bij de puzzelredactie van Natuur & Techniek, Postbus 415, 6200 AK MAASTRICHT.



VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

RNA-editing

Dr R. Benne en dr H. van der Spek

DNA maakt RNA maakt eiwit. De mole-kulaire biologie leek zo eenvoudig, maar nu blijkt dat sommige organismen hun RNA kunnen wijzigen. Toch moet ook de instructie voor deze RNA-bewerking in het DNA zijn opgenomen.



Lichaamsklok

Dr J.F. Ruis

Evenals de meeste planten en dieren ondergaat ook de mens dagelijkse en jaarlijkse ritmen in verschillende lichamelijke functies en gedragingen. De dagelijkse ritmen zijn het meest ingrijpend. Zij worden aangedreven door een interne biologische klok.



Turbo-diesel

Prof dr ir R. Sierens

De ontwikkelingen op het gebied van dieselmotoren staan niet stil. Vooral de toevoer van lucht en de afvoer van verbrande gassen vormen een dankbaar onderzoeksthema. Gentse onderzoekers gebruiken een simulatieprogramma om dieselmotoren te testen.





Embryonale ontwikkeling

Prof L. Wolpert

Wat zet een schijnbaar structuurloze en saai ogende cel als een bevruchte eicel, aan tot differentiatie en specialisatie? De vraag naar de toedracht van de ontwikkeling van het embryo is een van de grootste uitdagingen van de biologische wetenschappen.



Vuurtorens

Dr R. Ducastel

Vuurtorens waren vroeger onontbeerlijk voor de zeeman om positie en route te bepalen. De moderne zeeman heeft daartoe veel meer middelen ter beschikking. Toch vormen de vuurtorens nog altijd een extra controle bovenop de apparatuur aan boord.

s Kustbewoning

Prof dr H.T. Waterbolk

Als een bevolking groeit, kan de draagkracht van het milieu worden overschreden. Ook de prehistorische mens moest steeds op zoek naar nieuwe gebieden. Die vond hij in het nieuwe land aan de kust, waar nog voortdurend overstromingen dreigden.

HEET ONDER DE VOETEN?

Als reusachtige ijsschotsen drijven de continenten op een zee van roodgloeiend magma. Altijd in beweging. Het gezicht van de aarde verandert voortdurend. Soms bijna onmerkbaar langzaam, soms sneller dan ons lief is. Vulkaanuitbarstingen, milieurampen. Als we niet oppassen wonen we straks met z'n allen in één grote broeikas en stijgt de zeewaterspiegel ons letterlijk tot de lippen. Dan wordt het ons te heet onder de voeten.

De aardwetenschapper bestudeert het veranderende gezicht van onze planeet. De hele wereld is z'n werkterrein. Met het oog op de toekomst, graaft hij diep in het verleden om te weten te komen hoe de aarde ervoor staat. In de hitte van de woestijn, de kou van de pool, de diepte van de oceaan of op Schiermonnikoog. Een aardwetenschapper kijkt letterlijk en figuurlijk over grenzen.

Als jij je grenzen wilt verleggen, ga je aardwetenschappen studeren aan de Vrije Universiteit in Amsterdam. En als je nieuwsgierig bent hoe het er in de praktijk aan toe gaat, ga je mee op één van onze dagexcursies. Op zaterdag 24 april en zaterdag 29 mei nemen we je, gratis en geheel verzorgd, mee op onderzoek in de Gelderse Vallei. Bel 020-5482451 om je op te geven. Op dat nummer kun je ook terecht voor meer informatie over de studie aardwetenschappen aan de VU.

DOORDRINGEN TOT IN DE KERN

